



Juuso Jokiniemi

Sähkön kysyntäjoustokohteiden mahdollisuudet Suomen teollisuudessa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 26.6.2014

Valvoja: Professori Sanna Syri

Ohjaajat: Professori Matti Lehtonen ja diplomi-insinööri

Jenni Patronen

Tiivistelmä

Tekijä Juuso Jokiniemi

Työn nimi Sähkön kysyntäjoustokohteiden mahdollisuudet Suomen teollisuudessa

Laitos Energiatekniikan laitos

Professuuri Energiatalous ja voimalaitostekniikka

Professuurikoodi Ene-59

Työn valvoja Professori Sanna Syri

Työn ohjaajat Professori Matti Lehtonen ja diplomi-insinööri Jenni Patronen

Päivämäärä 26.6.2014

Sivumäärä 110

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Sähkön kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön hetkellistä vähentämistä tai käytön siirtämistä korkean sähkönkulutuksen ja -hinnan käyttötunneilta edullisempaan ajankohtaan. Kysyntäjoustoa voidaan hyödyntää sähköverkon tehotasapainon hallinnassa ja kulutushuippujen leikkaamisessa. Suomen teollisuus vastaa lähes puolesta koko Suomen sähkönkulutuksesta, minkä takia teollisuudessa on paljon potentiaalia kysyntäjousto.

Tässä työssä tutkitaan Suomen teollisuuden mahdollisuuksia osallistua kysyntäjousto. Kysyntäjoustopotentiaalin selvittämiseksi työssä haastateltiin 12 yritystä ja yhtä kuntayhtymää. Lisäksi työssä tehtiin kasvihuonepuutarhalle case-tutkimus, jossa selvitettiin tarkemmin kysyntäjouston kannattavuutta ja toteutettavuutta.

Tämän työn yrityshaastattelussa löydettiin nykyisessä sähkömarkkinatilanteessa hyödyntämätöntä kysyntäjoustopotentiaalia useilta uusilta aloilta. Lisäksi yrityshaastattelussa tunnistettiin uutta kysyntäjoustopotentiaalia perinteisten metsä-, metallinjalostus- ja kemianteollisuuden alojen yritysten sivuprosesseista. Työssä tehty case-tutkimus osoittaa, että kysyntäjousto on kannattavaa ja että kysyntäjousto on mahdollista tehdä uusissa sähkönkulutuskohdeissa.

Avainsanat Kysyntäjousto, sähkönkulutuskohde, teollisuus, tehotasapaino, sähkön hankinta, reservi, säädettävyys

Abstract

Author Juuso Jokiniemi

Title of thesis Possibilities of demand response in Finnish industry

Department Department of Energy Technology

Professorship Energy Economics and Power Plant
Engineering

Code of professorship Ene-59

Thesis supervisor Professor Sanna Syri

Thesis advisors Professor Matti Lehtonen and Jenni Patronen, M.Sc. (Technology)

Date 26.6.2014

Number of pages 110

Language Finnish

Abstract

Demand response in the electricity markets can be defined as an act where electricity demand is transferred from high electricity demand and price hours, into more advantageous hours. Demand response can be utilized to reduce the demand peaks and to stabilize the power balance of an electricity system. The electricity consumption of Finnish industry corresponds to almost half of the total electricity consumption in Finland, which is why the industry has a lot of potential for demand response.

This thesis studies the possibilities of Finnish industry to participate in demand response. In order to study the demand response potential of Finnish industry, 12 companies and one municipality group were interviewed. Additionally a case-study, where profitability and feasibility was studied in more detail, was conducted for a greenhouse garden.

Unutilized demand response potential was found from several new fields in the company interviews. New demand response potential was also found from the side processes of the traditional forest, metal processing and chemical industry companies. The case-study proved that demand response can be made in a profitable way in new electricity consumption targets.

Keywords Demand response, industry, power balance, electricity procurement, reserve, adjustability

Alkusanat

Kysyntäjoustopon aktivoimiseksi Fingrid käynnisti Pöyry Management Consulting Oy:n kanssa syksyllä 2013 hankkeen, jonka tavoitteena oli selvittää Suomen teollisuuden sähkönkulutuskohteiden mahdollisuuksia osallistua kysyntäjoustopon ja lisätä kysyntäjoustopon määrää sähkömarkkinoilla. Tämä diplomityö on tehty Fingridin ja Pöyryn yhteiseen kysyntäjoustopohankkeeseen perustuen, jonka aikana työskentelin Pöyry Management Consulting Oy:llä.

Haluan kiittää työni valvojaa Sanna Syriä ja ohjaajaa Matti Lehtosta Aalto Yliopistolta sekä Fingridin Jonne Jäppistä. Lisäksi haluan kiittää Pöyry Management Consulting Oy:n Jenni Patrosta ja Satu Lyyraa neuvoista ja tuesta työn aikana. Suuret kiitokset myös kaikille Pöyryllä työskenteleville kollegoilleni hyvästä yhteishengestä, neuvoista ja tuesta työn aikana. Lopuksi haluan kiittää perhettä ja ystäviäni tuesta ja kannustuksesta opiskelujeni aikana.

Espoo 26.6.2014

Juuso Jokiniemi

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	1
Abstract	2
Alkusanat	3
Sisällysluettelo	5
Lyhenteet.....	8
1 Johdanto	9
1.1 Kysyntäjouaston määritelmä.....	9
1.2 Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n rooli Suomen sähkömarkkinoilla.....	11
1.3 Työn tavoite ja rajaukset	12
2 Suomen sähkömarkkinat ja tehotasapainon hallinta	13
2.1 Tehotasapainon hallinta.....	13
2.1.1 Säättösähkömarkkinat	14
2.2 Fingridin reservit	15
2.2.1 Taajuusohjattu käyttöreservi	16
2.2.2 Taajuusohjattu häiriöreservi.....	17
2.2.3 Nopea häiriöreservi	18
2.2.4 Tehoreservi.....	19
2.2.5 Toiminta tehopulassa	20
2.3 Sähkökaupan markkinapaikat.....	21
2.3.1 Sähkönhankinnan suojaaminen ja johdannaismarkkinat	22
2.3.2 Elspot-markkinat	22
2.3.3 Elbas-markkinat	23
2.4 Tasehallinta	23
2.4.1 Taseselvitys	24
2.4.2 Tasepalvelumalli	25
2.4.3 Kaksi- ja yksihintajärjestelmä.....	27
3 Kysyntäjouaston tarve Suomen sähkömarkkinoilla.....	28
3.1 Suomen sähkömarkkinoiden kehitys.....	28
3.2 Sähkömarkkinoiden nykytila Suomessa ja Pohjoismaiset sähkömarkkinat.....	29
3.2.1 Sähkön hinnan muodostuminen	29
3.2.2 Tuotantokapasiteetti	31

3.2.3	Huippukapasiteetti.....	31
3.2.4	Sähköntuotannon säädettävyys	32
3.2.5	Lauhdevoiman nykytilanne.....	33
3.2.6	Maakaasun asema Suomessa	34
3.3	Tuotantokapasiteetin muutokset tulevaisuudessa.....	35
3.3.1	Vesivoima	35
3.3.2	Ydinvoima.....	36
3.3.3	Tuulivoima ja aurinkosähkö.....	36
3.3.4	Siirtoyhteydet	37
3.4	Yhteenveto.....	37
4	Kysyntäjousto Suomessa.....	39
4.1	Talouden ja sähkönkulutuksen kehitys Suomessa.....	39
4.2	Kysyntäjouston nykytila Suomessa.....	41
4.3	Kysyntäjoustopotentiaali teollisuuden eri aloilla	42
4.4	Yritysten sähkönhankinnan vaikutukset kysyntäjoustoön	42
4.5	Palveluntarjoajat ja kysyntäjoustokuormien kokoojat (aggregoijat).....	43
4.6	Kansainvälinen tilanne teollisuuden kysyntäjoustossa.....	44
5	Tutkimusmenetelmät.....	47
5.1	Yrityshaastattelut.....	47
5.2	Case-tutkimus	48
5.3	Markkinadataan perustuva analyysi	48
6	Kysyntäjouston markkinapaikat.....	49
6.1	Kysyntäjouston markkinapaikkojen ominaisuudet	49
6.1.1	Kysyntäjouston määrä eri markkinapaikoilla.....	50
6.2	Kysyntäjouston vaikutukset sähkömarkkinoihin.....	51
6.3	Elspot-markkinat	52
6.4	Elbas-markkinat.....	55
6.5	Säätösähkömarkkinat.....	57
6.6	Taajuusohjatut reservit	59
6.6.1	Vuosi- ja tuntimarkkinat	60
6.6.2	Taajuusohjattu käyttöreservi	61
6.6.3	Taajuusohjattu häiriöreservi.....	63
6.7	Nopea häiriöreservi	65
6.8	Tehoreservi	66

7	Fingrid Oyj:n kysyntäjouaston pilottiprojektit.....	68
7.1	Kysyntäjouaston pilottiprojektien periaatteet	68
7.1.1	Säätösähkömarkkinan pilottiprojektit	69
7.2	Pilottiprojekti 1: Varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien aggregointi.....	69
7.3	Pilottiprojekti 2: Pakastevaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi	71
8	Yrityshaastatteluiden tulokset	73
8.1	Kysyntäjoustopotentiaali eri teollisuuden aloilla	74
8.2	Asenteet kysyntäjoustoja kohtaan	74
8.3	Sähkönkulutuskohdeiden soveltuvuus kysyntäjoustoja	75
8.3.1	Tuotantoprosessien rajoitukset.....	76
8.3.2	Kysyntäjouaston markkinapaikkojen vaatimukset	77
8.3.3	Automaatio ja sähkönkulutuksen seuranta.....	77
8.4	Osallistuminen kysyntäjouaston eri markkinapaikoille	78
8.5	Potentiaalisimmat kysyntäjoustokohdet	79
9	Case-tutkimuksen tulokset	84
9.1	Kasvihuonepuutarhan yleisesittely.....	84
9.2	Vuosittainen vaihtelu valaistuksessa	85
9.3	Valaistuksen soveltuvuus kysyntäjouaston markkinapaikoille	85
9.4	Säätösähkömarkkinat.....	86
9.4.1	Kysyntäjoudesta saatavat korvaukset.....	86
9.4.2	Kysyntäjouaston toteutus ja kustannukset	87
9.5	Taajuusohjattu häiriöreservi	88
9.5.1	Korvaukset vuosimarkkinoilla	88
9.5.2	Korvaukset tuntimarkkinoilla	89
9.5.3	Kysyntäjouaston toteutus ja kustannukset	90
9.6	Johtopäätökset	91
10	Yhteenveto ja johtopäätökset	93
	Lähdeluettelo.....	97
	Liite 1. Yrityshaastatteluiden kysymykset	110

Lyhenteet

EV	Energiavirasto
IE	Industrial Emissions
NPS	Nord Pool Spot
SEDC	Smart Energy Demand Coalition
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
UPS	Uninterruptible Power Supply
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
kW	kilowatti
MW	megawatti
GW	gigawatti
MWh	megawattitunti
TWh	terawattitunti

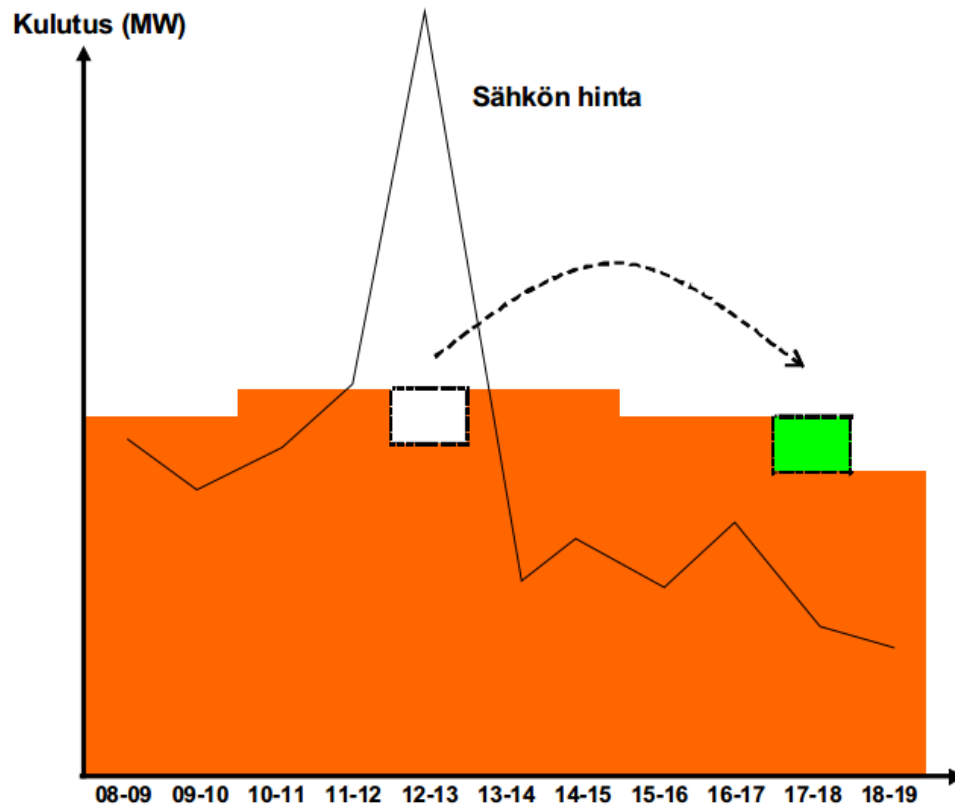
1 Johdanto

Sähkön kulutushuiput Suomessa ovat kasvaneet jatkuvasti viimeisten vuosikymmenien aikana. Lisäksi Pohjoismaisen sähköjärjestelmän taajuuden laatu on heikentynyt hajautetun sähköntuotannon ja etenkin tuulivoiman kapasiteetin kasvun myötä. Kulutushuipujen kasvaessa nousevan kysynnän tyydyttämiseen tarvittavan huipputuotantokapasiteetin tarve lisääntyy. Kulutushuiput esiintyvät kuitenkin vain harvoin, minkä takia suuria investointeja vaativat huippukuormalaitokset ovat suuren osan ajasta käyttämättömänä. Kulutushuiput nostavat myös sähkön markkinahintaa ja kuormittavat ympäristöä, koska huippukuormalaitoksissa käytetyt polttoaineet ovat kalliita ja aiheuttavat päästöjä ympäristöön. Hintapiikit sähkömarkkinoilla aiheuttavat suuria riskejä ja kustannuksia sähkömarkkinatoimijoille. Vastaavasti sähköjärjestelmän taajuuden heikentyminen lisää säätökapasiteetin tarvetta sähkömarkkinoilla. Säättöön pystyvien tuotantolaitosten kapasiteetti on kuitenkin vähentymässä tiukentuvien säädösten ja nousseiden polttoaineen hintojen seurauksena.

Sähkön kysyntäjoustolla voidaan alentaa kulutuspiikkejä sekä osallistua sähköjärjestelmän tehotasapainon hallintaan. Tässä diplomityössä tarkastellaan teollisuuden mahdollisuuksia osallistua sähkön kysyntäjoustoon Suomessa. Teollisuus kuluttaa lähes puolet koko Suomen sähköstä vuosittain, minkä vuoksi teollisuuden toimijoilla on suurin potentiaali kysyntäjouston toteuttamiseen Suomessa. Tämän johdosta on tärkeää selvittää miten Suomen teollisuuden osallistumista kysyntäjoustoon voitaisiin lisätä.

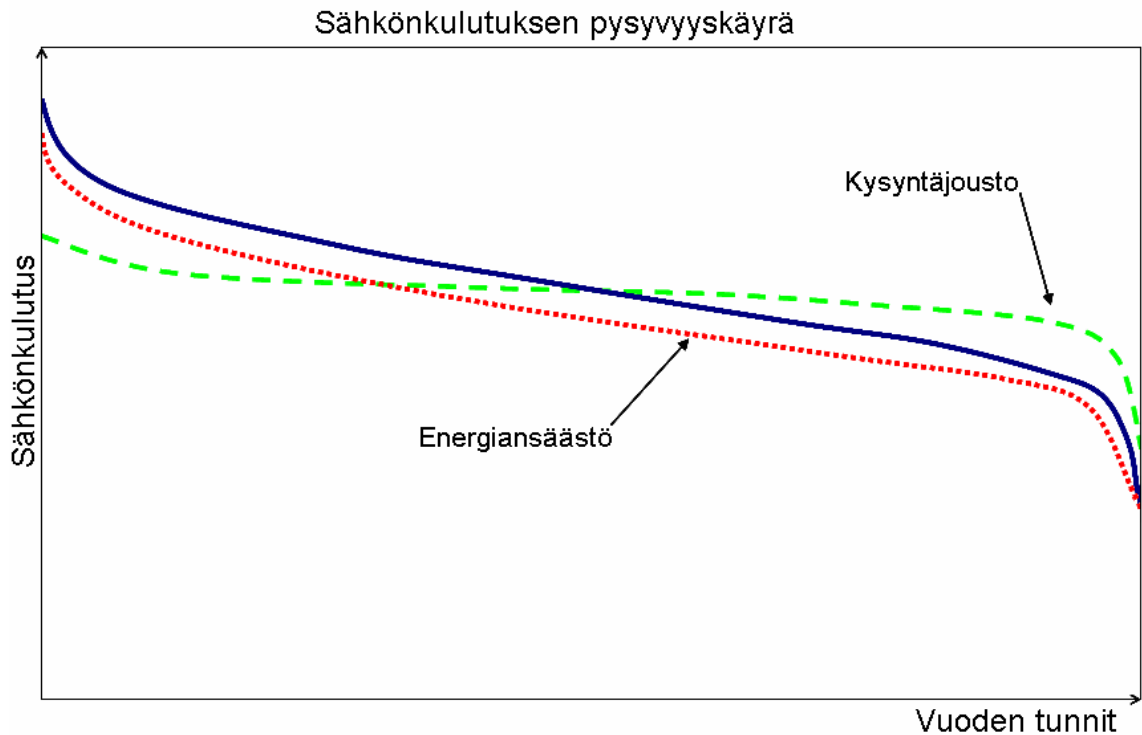
1.1 Kysyntäjouston määritelmä

Sähkön kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön hetkellistä vähentämistä tai käytön siirtämistä korkean sähkönkulutuksen ja -hinnan käyttötunneilta edullisempaan ajankohtaan. Kuvassa 1 on havainnollistettu sähkönkulutuksen siirtämistä korkean sähkön hinnan käyttötunnilta matalamman hinnan käyttötunnille.



Kuva 1 Kysyntäjouston periaate sähkömarkkinoilla. Sähkönkulutuksen siirtäminen korkean sähkön hinnan tai kulutuksen käyttötunnilta toiselle käyttötunnille. (Elinkeinoelämän keskusliitto EK ry 2009a)

Kysyntäjoustoa voidaan hyödyntää sähköverkon tehtasapainon hallinnassa ja kulutus-
huippujen leikkaamisessa. Kysyntää alentamalla voidaan välttää investointeja säätö- ja
huippukuormakapasiteettina toimiviin tuotantolaitoksiin sekä vähentää nykyisten laitosten
kuormittamista. Kuvassa 2 on esitetty kysyntäjouston vaikutus sähkönkulutuksen
pysyvyyskäyrään. Kuvan pysyvyyskäyrä kysyntäjoustotilanteessa on hieman liioiteltu
erojen osoittamiseksi. Kuvasta nähdään, että kysyntäjoustolla voidaan leikata selkeästi
huippukulutuksen määrää. Kysyntäjousto ei kuitenkaan muuta vuotuisen sähköenergian
kulutusmäärää, koska kulutusta ei muuteta vaan siirretään ainoastaan ajallisesti. (Työ- ja
elinkeinoministeriö 2008a, s. 8)



Kuva 2 Kysyntäjouston ja energian säästön vaikutus Suomen sähkönkulutuksen pysyvyyskäyrään. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008a, s. 9)

Kulutushuippujen leikkaaminen vähentää sähkömarkkinoiden hintapiikkejä sekä ympäristöä kuormittavien huippukuormalaitosten käyttöastetta. Kysyntäjousto parantaa ympäristöystävällisen hajautetun tuotannon hyödyntämismahdollisuuksia, koska kysyntäjoustolla voidaan tasapainottaa hajautetun tuotannon epätasaista sähkön tuotantoa. Kysyntäjouston hyödyntäminen sähkömarkkinoilla vähentää lisäksi sähköverkkojen kuormitusta sekä parantaa Suomen energiaomavaraisuutta sähköntuonnin alenemisen myötä. Kysyntäjouston tarve on kasvamassa, koska joustamattoman tuotannon kuten ydinvoiman ja uusiutuvan energian määrä verkossa kasvaa tulevaisuudessa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008a, s. 8, 18)

1.2 Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n rooli Suomen sähkömarkkinoilla

Suomen sähköjärjestelmä koostuu voimalaitoksista ja sähkönkuluttajista sekä niitä yhdistävistä kanta-, alue ja jakeluverkoista. Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj toimii Suomen sähkömarkkinoilla järjestelmävastaavana ja vastaa sähköjärjestelmän toimivuudesta. Fingridin tehtäviin kuuluu kantaverkon käyttövarmuuden ylläpito sekä tehotasapainon hallinta. Fingrid siirtää sähköä jatkuvasti tuotantolaitoksista jakeluverkkoihin ja teollisuuden sähkönkäyttäjille sekä vastaa Suomen sähkönsiirtoyhteisistä naapurimaihin.

Fingridin vastuulla on myös sähköverkossa tapahtuvien häiriötilanteiden selvittäminen ja sähköjärjestelmän palauttaminen normaalitilaan. Lisäksi Fingrid toimii valtakunnallisena tasevastaavana ja vastaa Suomen tasekaupasta ja – selvityksestä. Fingridin tavoitteena on saada sähkömarkkinoille lisää kysyntäjousto sähköjärjestelmän toiminnan edistämiseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014)

1.3 Työn tavoite ja rajaukset

Tässä diplomityössä keskitytään tutkimaan Suomen teollisuuden mahdollisuuksia osallistua kysyntäjousto. Työssä ei tutkita muiden sähkönkäyttäjien kuin teollisuuden osallistumista kysyntäjousto. Tähän mennessä teollisuuden kysyntäjousto koskevia selvityksiä on tehty vähän ja niissä on keskitytty suurteollisuuden kysyntäjoustopotentialiin.

Tämän työn tavoitteena on löytää Suomen teollisuudesta sähkönkulutuskohteita, jotka eivät osallistu vielä kysyntäjousto sekä tutkia näiden kohteiden mahdollisuuksia osallistua eri kysyntäjoustopotentialille. Teollisuuden kysyntäjoustopotentialia on selvitetty tässä työssä yrityshaastatteluilla sekä yhdellä case-tutkimuksella. Lisäksi tässä työssä on tutkittu kysyntäjoustopotentialia eri markkinapaikoilla julkisesti olevan markkinadatan avulla. Työssä on keskitytty tutkimaan ensisijaisesti pohjoismaisen sähköpörssin Nord Pool Spot:n (NPS) ulkopuolella olevia kysyntäjoustopotentialia markkinapaikoilla ja teollisuuden sähkönkulutuskohteiden soveltuvuutta näille markkinapaikoille.

Työssä on selvitetty myös tarkasti kysyntäjousto vaikuttavat taustat Suomen sähkömarkkinoilla. Lisäksi työssä on tutkittu kysyntäjousto rajoittavia tekijöitä Suomen teollisuudessa ja sähkömarkkinoilla. Työn tavoitteena ei ole selvittää koko Suomen teollisuuden kysyntäjoustopotentialia.

2 Suomen sähkömarkkinat ja tehotasapainon hallinta

Tässä luvussa esitetään Suomen sähköjärjestelmän ylläpitämisen ja sähkömarkkinoiden toimintaperiaatteet. Luvussa kuvataan tarkasti miten tehotasapainoa ylläpidetään eri markkinoilla ja reserveilla. Lisäksi luvussa esitetään pohjoismaisen sähköpörssin Nord Pool Spot:n sähkömarkkinoiden toimintatavat sekä tasehallinnan periaatteet.

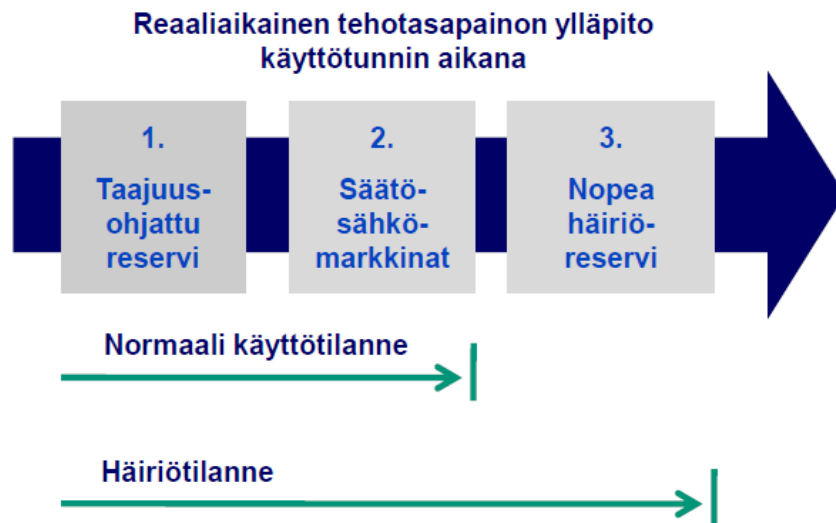
2.1 Tehotasapainon hallinta

Tehotasapainolla tarkoitetaan sähkönkulutuksen ja -tuotannon tasapainottamista sähköverkossa. Sähköenergian heikon varastoitavuuden takia, sähköverkkoon kytketyn kulutuksen ja tuotannon tulee olla jatkuvasti tasapainossa. Käytännössä tuotannon ja kulutuksen välillä vallitsee kuitenkin useimmiten pieni ero. Sähköverkon taajuus muodostuu kulutuksen ja tuotannon hetkellisen tasapainon perusteella. Suomen sähköverkon taajuus on tasan 50 Hz tilanteessa, jossa sähköntuotanto ja – kulutus ovat tasapainossa. Kun sähkönkulutus on suurempaa kuin sähköntuotanto, taajuus laskee alle 50 Hz ja päinvastoin. Suomen sähköverkon taajuus pyritään pitämään 49,9 ja 50,1 Hz välillä tehotasapainon takaamiseksi. (Fingrid Oyj 2014a)

Pohjoismainen sähköjärjestelmä on yhdistetty siirtoverkkojen avulla yhteiseksi järjestelmäksi, jossa vallitsevat yhteiset säännöt tehotasapainon ylläpitämiseksi. Pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt ovat sopineet yhteisen käyttösopimuksen, jossa on asetettu laatuvaatimukset taajuudelle sekä jännitteelle siten, että käyttövarmuutta ei vaaranneta. Sähköverkon taajuutta ylläpidetään säätösähkömarkkinoiden sekä käyttö- ja häiriöreservien avulla. Käyttösopimuksessa on määriteltä yhteinen reservimäärä sekä jaettu maakohtaiset velvoitteet reserveille. Jokainen kantaverkkoyhtiö saa päättää itse miten se hankkii omat reservinsä, kuitenkin niin että reserveja on käytössä riittävästi myös kansallisesti. (Fingrid Oyj 2014b)

Fingrid huolehtii Suomen tehotasapainon ylläpitämisestä pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden käyttösopimuksen mukaisesti. Fingrid käyttää säätösähkömarkkinoita sekä erilaisia reservituotteita, jotka voivat reagoida taajuuden muutoksiin eri aikatasoilla, tehotasapainon ylläpitoon. Reservikapasiteettina käytetään tuotantolaitosten tai kulutusyksiköiden säätökykyistä kapasiteettia. Lisäksi Suomessa on käytössä tehoreservijärjestelmä, millä turvataan sähkön toimitusvarmuus tehopulassa. Taajuusohjattujen reser-

vien, säätösähkömarkkinoiden ja tehoreservien osallistuminen käyttötunnin sisäisen tehotasapainon ylläpitoon on esitetty kuvassa 3. (Fingrid Oyj 2014b)



Kuva 3 Reaaliaikaisen tehotasapainon ylläpitoon käytetyt reservit ja markkinat käyttötunnin aikana. (Jäppinen, J 2013)

2.1.1 Säätösähkömarkkinat

Fingrid hyödyntää kotimaisia säätösähkömarkkinoita, jotka toimivat osana pohjoismaisia säätösähkömarkkinoita, tehotasapainon ylläpitämisessä. Fingrid tarvitsee säätösähkömarkkinoita, koska sillä ei ole riittävästi omaa säätökapasiteettia tehotasapainon ylläpitämiseksi. Säätösähkömarkkinoita käytetään noin 75 % vuoden käyttötunneista (Jäppinen, J 2013). Säätösähkömarkkinoiden tarjouksia käytetään myös muihin tarkoituksiin kuin järjestelmätaajuuden ylläpitoon. Säätöjä voidaan käyttää esimerkiksi Suomen sisäisten siirtojen hallintaan tai tuntien välisen tuotannon tasaamiseen. (Tasepalvelun sovellusohje 2013, Liite I, s. 7-9)

Sähkön tuottaja tai kuluttaja, jolla on sopivaa säätökapasiteettia voi osallistua säätösähkömarkkinoille antamalla ylös- tai alassäätötarjouksia. Säätötarjousten tekeminen säätösähkömarkkinoilla on esitetty kuvassa 4. Ylössäätötarjouksen tarjoaja joko lisää omaa sähköntuotantoaan tai vähentää sähkönkulutusta. Alassäätötarjouksen tekijä vastaavasti vähentää sähköntuotantoa tai vaihtoehtoisesti lisää sähkönkulutusta ostamalla sähköä järjestelmävastaavalta. Yhden säätötarjouksen vähimmäiskapasiteetti on 10 MW, mutta säätötarjouksen takana voi olla useita eri kohteita. Säädön täytyy aktivoitua täyteen tehoon 15 minuutissa ja täyden tehonmuutoksen täytyy kestää koko käyttötunnin ajan.

Ohjauksen perusteella tapahtunut tehonmuutos on voitava todentaa reaaliaikaisesti. Säättötarjoukset jätetään markkinoille viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia. (Fingrid Oyj 2014c, Säättösähkömarkkinasopimus 2014)



Kuva 4 Säättötarjousten tekeminen säättösähkömarkkinoilla. (Fingrid Oyj 2014c)

Fingrid toimittaa säättötarjoukset yhteiseen pohjoismaiseen järjestelmään, joka järjestää tarjoukset hintajärjestykseen. Säättötarjoukset käytetään hintajärjestyksessä niin hyvin kuin se voimajärjestelmän käyttötilanne huomioiden on mahdollista. Ylössäättötarjouksista käytetään ensin halvin tarjous ja alaussäättötarjouksista kallein. Tuntikohtaisen säädön hinta ylössäädölle määräytyy kalleimman käytetyn ylössäättötarjouksen hinnan mukaan ja alassäädön hinta vastaavasti halvimman käytetyn alaussäättötarjouksen hinnan mukaan. Ylössäädön hinta on aina vähintään Elspot-markkinan Suomen aluehinta ja alassäädön hinta vähintään Elspot-markkinan Suomen aluehinta. Ylössäättötarjouksille on asetettu 5000 €/MWh:n hintakatto. (Tasepalvelun sovellusohje 2013, Liite I, s. 9)

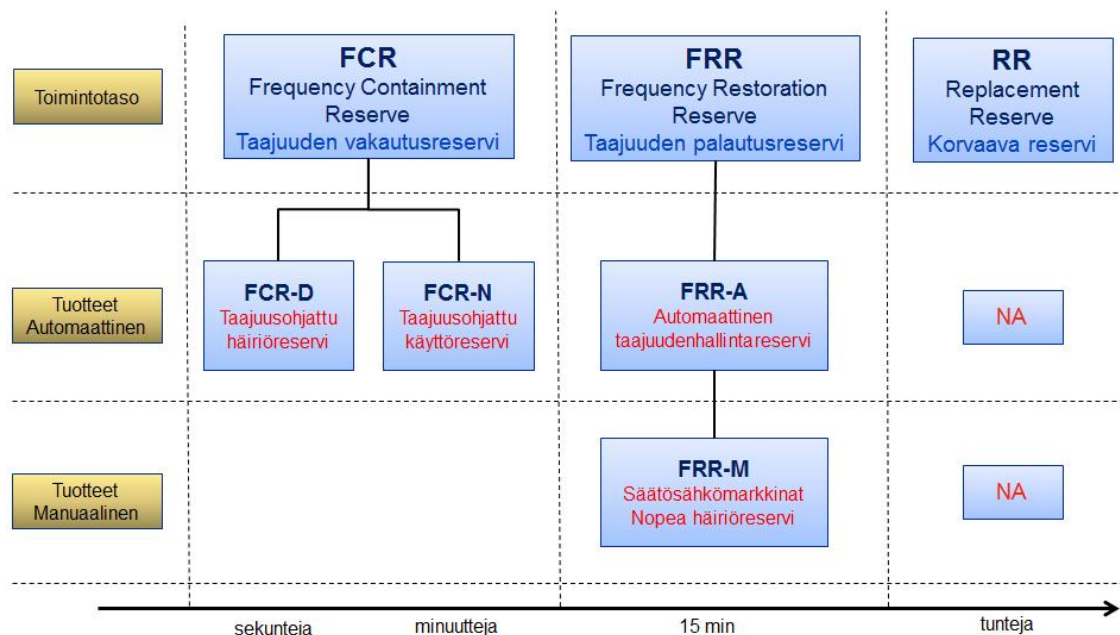
2.2 Fingridin reservit

Pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt ovat sopineet yhteisistä reservien ylläpitovelvoitteista pohjoismaisessa sähköjärjestelmässä (Fingrid Oyj 2014d). Kantaverkkoyhtiöt voivat päättää itse maakohtaisesti miten reservien hankinta toteutetaan. Reservejä voidaan hankkia myös muista maista, kuitenkin niin että reservejä on käytössä riittävästi kansallisesti, jotta tehotasapaino pystytään ylläpitämään myös saarekekäyttötilanteissa. (Fingrid Oyj 2014e)

Pohjoismaisessa voimajärjestelmässä käytössä olevat tehoreservilajit on esitelty kuvassa 5. Reservilajit pitävät sisällään taajuuden vakautusreservit, taajuuden palautusreservit ja korvaavat reservit. Taajuuden vakautusreservit pitävät sisällään taajuusohjatut häiriöre-

servit ja taajuusohjatut käyttöreservit. Niitä käytetään jatkuvaan sähköverkon systeemitajuuden hallintaan. Esimerkkitalanteita, joissa taajuuden vakautusreservijä tarvitaan, ovat suuren sähköntuotantoyksikön irtautuminen verkosta, verkonosan vikaantuminen tai ennusteesta eroavan tuulivoimatuotannon tasapainottaminen.

Taajuuden palautusreservit pitävät sisällään manuaalisesti aktivoitavat säätösähkömarkkinat ja nopean häiriöreservin sekä uuden vuonna 2013 testikäyttöön otetun automaattisen taajuudenhallintareservin (Fingrid Oyj 2014f). Automaattinen taajuudenhallintareservi otettiin käyttöön tasapainottamaan Pohjoismaissa viime vuosina jatkuvasti heikentynyttä taajuuden laatua (Fingrid Oyj 2013b). Taajuuden palautusreservijä käytetään palauttamaan systeemitajuus normaalialueelle ja vapauttamaan taajuuden vakautusreservit takaisin uudelleen käyttöön. Korvaavan reservin tarkoituksena on tukea muita reservijä häiriötilanteiden sattuessa. Korvaaville reserveille ei ole määritetty velvoitteita Pohjoismaissa. (Fingrid Oyj 2014f)



Kuva 5 Pohjoismaisen voimajärjestelmän tehoreservilajit. (Fingrid Oyj 2014f)

2.2.1 Taajuusohjattu käyttöreservi

Taajuusohjattu käyttöreservi aktivoituu taajuuden muutoksista automaattisesti kun sähköverkon taajuus poikkeaa 50 Hz:n taajuudesta. Taajuusohjattua käyttöreserviä käytetään jatkuvasti ylläpitämään sähköverkon jännitettä 49,9 ja 50,1 Hz normaalitaajuusalueella.

eella. Säädön on aktivoiduttava täyteen tehoon kolmen minuutin kuluttua 0,05 Hz taajuudenmuutoksesta sähköverkossa. (Fingrid Oyj 2014g)

Pohjoismaiden yhteinen velvoite taajuusohjattulle käyttöreserville on 600 MW. Maakohtainen velvoite lasketaan maiden käyttämien vuosienergioiden perusteella. Suomen vuoden 2014 velvoite taajuusohjattulle käyttöreserville on noin 140 MW. Taajuusohjattuna käyttöreservinä voidaan hyödyntää voimalaitosten tuotantokapasiteetin säätöä, maiden välisiä siirtoyhteyksiä sekä kulutus- ja tuotantokohteiden kysyntäjoustoa. Suomen hankintalähteet taajuusohjattulle käyttöreserville kokonaisuudessaan on esitetty taulukossa taulukossa 1. (Fingrid Oyj 2014d, Fingrid Oyj 2014e)

Taulukko 1 Suomen velvoite ja hankintalähteet Fingridin reserveille vuonna 2014. (Fingrid Oyj 2014d, Fingrid Oyj 2014e)

Reservi	Suomen velvoite	Hankintakanava	Sopimusten mukainen enimmäiskapasiteetti
Taajuusohjattu käyttöreservi	noin 140 MW	Voimalaitokset - Vuosihankinta Voimalaitokset - Tuntimarkkinat Muut Pohjoismaat Viipurin DC-linkki Viro, Estlink 1 & 2	75 MW 75 MW - 90 MW 35 MW
Taajuusohjattu häiriöreservi	noin 260 MW	Voimalaitokset - Vuosihankinta Voimalaitokset - Tuntimarkkinat Irtikytettävät kuormat Muut Pohjoismaat	319 MW 307 MW 40 MW -
Automaattinen taajuudenhallintareservi (FRR-A)	noin 69 MW	Tuntimarkkinat	-
Nopea häiriöreservi (FRR-M)	noin 880 MW	Fingridin varavoimalaitokset Käyttösopimuslaitokset Irtikytettävät kuormat	935 MW 295 MW 385 MW

2.2.2 Taajuusohjattu häiriöreservi

Taajuusohjattua häiriöreserviä käytetään sähköjärjestelmän häiriötilanteissa. Sähköverkkoon voi syntyä häiriöitä esimerkiksi tilanteissa, joissa tuotanto- tai kulutuskapasiteettia irtoaa sähköverkosta. Taajuusohjattu häiriöreservi aktivoituu automaattisesti heti kun sähköverkon taajuus laskee alle 49,9 Hz:n (voimalaitokset) tai 49,7 Hz:n (irtikytettävät kuormat) ja on aktivoitunut kokonaisuudessaan kun taajuus laskee 49,5 Hz:n. Taajuusohjattun häiriöreservin aktivoitumisvaade on 30 sekuntia kun taajuus laskee alle 49,9 Hz:n tai 49,7 Hz:n ja 5 sekuntia kun taajuus laskee alle 49,5 Hz:n. (Fingrid Oyj 2014g)

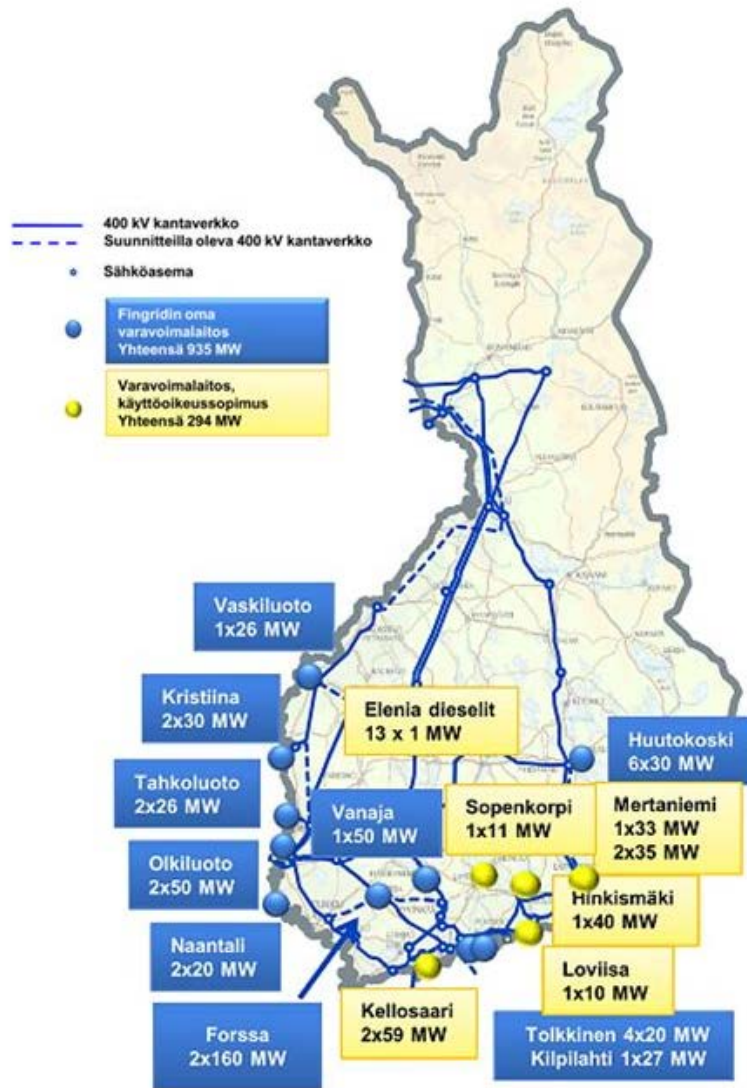
Taajuusohjattua häiriöreserviä ylläpidetään niin paljon, että sähköjärjestelmä pystyy kestämaan suuren tuotantolaitoksen irtoamisen verkosta ilman, että sähköverkon taajuus laskee yli 0,5 Hz. Taajuusohjattuna häiriöreservinä voidaan käyttää voimalaitoskapasiteettia ja irtikytettäviä kuormia. Pohjoismaiden yhteinen velvoite taajuusohjatulle häiriöreserville normaalissa tilanteessa on 1200 MW. Koko pohjoismaisen järjestelmän vaadittu taajuusohjattu häiriöreservikapasiteetti määritellään viikoittain vastaamaan suurinta häiriön aiheuttamaa tuotannon menetystä, josta vähennetään järjestelmän säätökyky. Maakohtaiset velvoitteet taajuusohjatulle häiriöreserville asetetaan yksittäisen häiriön aiheuttaman kapasiteetin menetyksen mukaan. Suomen velvoite ja hankintalähteet taajuusohjatulle häiriöreserville kokonaisuudessaan on esitetty taulukossa 1. (Fingrid Oyj 2014d, Fingrid Oyj 2014e)

2.2.3 Nopea häiriöreservi

Nopea häiriöreservi on manuaalisesti 15 minuutissa aktivoitavaa pätö- ja loistetehoreserviä. Tarve nopealle häiriöreserville pohjoismaisessa sähköverkossa on määritelty, niin että jokaisella maalla tulee olla sitä vähintään oman mitoittavan vikansa verran. Nopean häiriöreservin aktivoiminen palauttaa sähköjärjestelmän takaisin tilaan, jossa se kestää mahdollisen uuden häiriön. (Fingrid Oyj 2014g)

Suomen velvoite nopealle häiriöreserville vuonna 2014 on noin 880 MW. Olkiluodon kolmannen ydinreaktorin käyttöönoton jälkeen Suomen mitoittava viaksi tulee 1300 MW, minkä seurauksena velvoite nopealle häiriöreserville nousee 1300 MW:iin.

Nopea häiriöreservi Suomessa koostuu Fingridin omista kaasuturbiinilaitoksista minkä lisäksi Fingrid hankkii osan kapasiteetista kahdenvälisin sopimuksin hankituilla käyttöoikeussopimuslaitoksilla ja irtikytettäville kuormilla. Suomen velvoite ja hankintalähteet nopealle häiriöreserville kokonaisuudessaan on esitetty taulukossa 1. Suomen sähköverkkoon liitetyt nopeaan häiriöreserviin kuuluvat varavoimalat on esitetty lisäksi tarkemmin kuvassa 6. (Fingrid Oyj 2014d, Fingrid Oyj 2014e)



Kuva 6 Nopea häiriöreservi Suomen sähköverkossa. Fingrid Oyj 2014h

2.2.4 Tehoreservi

Tehoreserviä ylläpidetään Suomessa tilanteita varten, joissa suunniteltu sähkön hankinta ei riitä kattamaan ennakoitua sähkön kulutusta. Laki velvoittaa ylläpitämään riittävän suurta tehoreserviä sähkön toimitusvarmuuden turvaamiseksi Suomessa. Tehoreserviin hyväksytään voimalaitoksia sekä sähkönkulutuksen joustoon pystyviä kohteita. Tehoreserviin osallistuvat voimalaitokset eivät voi osallistua kaupallisille markkinoille reservisääntöjen mukaan, vaan ne on varattu täysin tehoreservijärjestelmän käyttöön. (Fingrid Oyj 2014i)

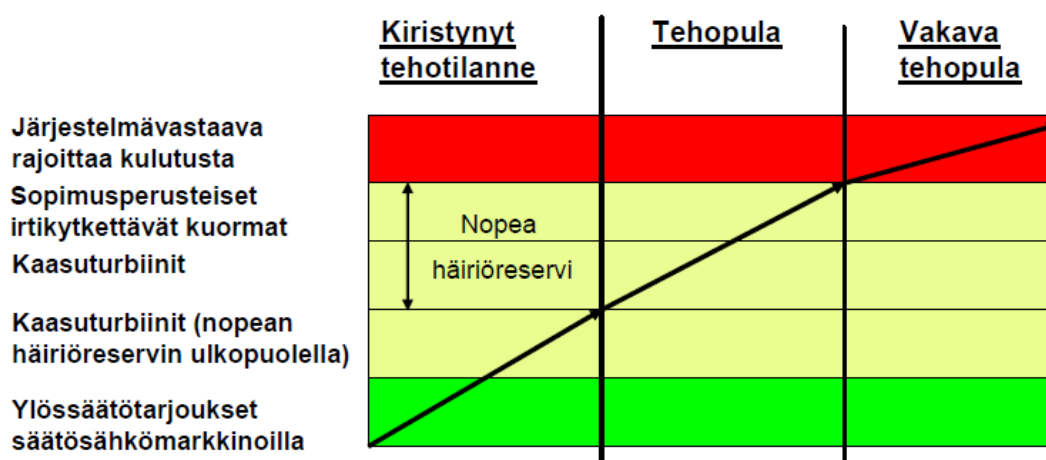
Entinen Energiamarkkinavirasto, nykyinen Energiavirasto (EV) ja Fingrid vastaavat yhdessä tehoreservijärjestelmän ylläpitämisestä. Energiaviraston vastuualueena on mää-

rittää tarvittavan tehoreservin määrä, kilpailuttaa reservilaitokset, vahvistaa reservin ehdot ja valvoo järjestelmän toimintaa. Fingrid vastaa puolestaan järjestelmän hallinnoinnista ja laitosten käynnistämisestä. Tehoreservijärjestelmän rahoitus kerätään Fingridin siirtopalvelujen käyttäjiltä erillisinä maksuina. Entinen Energiamarkkinavirasto arvioi vuonna 2013 Suomessa tarvittavan tehoreservin määräksi 365 MW. Energiavirasto arvioi seuraavan kerran tehoreservin tarvittavan määrän keväällä 2015. (Energiavirasto 2014a)

2.2.5 Toiminta tehopulassa

Tehopula on tilanne, jossa sähköntuotanto ja -tuonti eivät pysty kattamaan sähkönkulutusta. Fingridillä on käytössä kolmiportainen menettelytapa kiristyneen tuotanto- ja kulutustilanteen hallintaan. Fingridin menettelytapa on esitetty kuvassa 7.

Kiristyneessä tehotilanteessa tuotanto- ja kulutusennusteet kertovat, että tuotanto ja tuonti eivät riitä kattamaan kulutusta välttämättä lähitunteina. Tässä tilanteessa Fingrid lähettää varoituksen kaikille sähkömarkkinatoimijoille tilanteesta. Jos markkinaehtoisesti saatavilla oleva tuotantokapasiteetti ei riitä kattamaan kulutusta, ajaudutaan tehopulaan. Tehopulatilanteessa aktivoidaan nopeaa häiriöreservikapasiteettia, minkä seurauksena sähköverkon kyky selvitä vikatilanteista heikkenee. Mikäli sähköverkon tilanne ajautuu vakavaan tehopulaan, Fingrid joutuu aktivoimaan kaiken saatavilla olevan reservikapasiteetin. Tämän lisäksi Fingrid joutuu rajoittamaan sähkönkulutusta ennalta laadittujen suunnitelmien mukaisesti. (Fingrid Oyj 2014l)

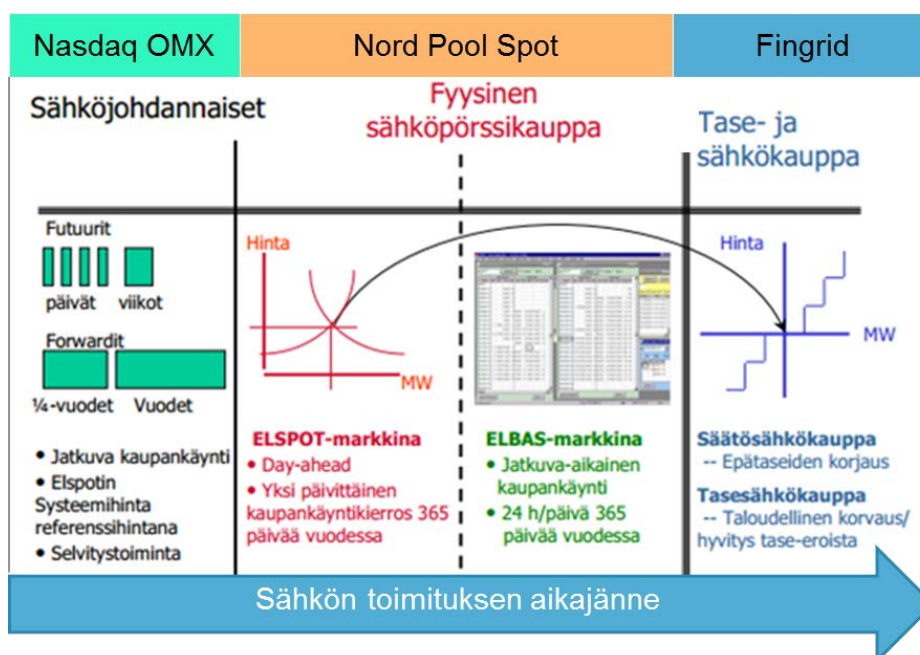


Kuva 7 Fingrid Oyj:n menettely tehopulatilanteessa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008a, s. 27)

2.3 Sähkökaupan markkinapaikat

Kuvassa 8 on kuvattu kaikki markkinapaikat, joilla voidaan tehdä sähkökauppaa Suomessa. Sähkökauppaa voi tehdä Suomessa lisäksi bilateraaleilla eli kahdenkeskisillä sopimuksilla. Sähkökauppaa käydään eri markkinapaikoilla eri aikoina ennen sähkön toimitusta.

Pohjoismaissa suurin osa sähkökaupasta tehdään Pohjoismaiden ja Baltian sähköpörssissä Nord Pool Spot:ssa. Nord Pool Spot:n sähköpörssi on avoin, keskitetty ja neutraali markkinapaikka, jossa Pohjoismaisen sähkön markkinahinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan perusteella. Pörssin tuotteet ovat standardituotteita ja kaupankäynti tapahtuu anonyymisti. Ensisijainen markkinapaikka Suomessa on Pohjoismaiden Nord Pool Spot:n Elspot-markkina, jossa kaupat tehdään tuntikohtaisesti yhtä päivää ennen sähkön fyysistä toimitusta. Elbas-markkina on toimitusta edeltävän vuorokauden sisäinen jälkimarkkina Elspot-kaupalle. Sähkön hinnan suojaamiseksi, sähkökauppaa on myös mahdollista tehdä sähkön johdannaistuotteiden, kuten futuurien ja forwardien, välityksellä. Nord Pool Spot on ulkoistanut pohjoismailla käytävät johdannaismarkkinat Nasdaq OMX:n hallintaan. Sähkökauppaa on myös mahdollista käydä Fingridin ylläpitämillä säätösähkömarkkinoilla ja tarjoamalla sähköntuotanto tai –kulutuskapasiteettia Fingridin ylläpitämien reservien käyttöön.



Kuva 8 Sähkökaupan markkinapaikat Suomessa. (Muunneltu: Partanen, J 2013)

2.3.1 Sähkönhankinnan suojaaminen ja johdannaismarkkinat

Sähkön hankintahinnan suojaaminen on tärkeää toimijoille, joille sähkön hankintakustannukset muodostavat suuren osan toiminnan kokonaiskustannuksista. Sähkön hinta voidaan suojata johdannaistuotteiden avulla. Johdannaistuotteet on kehitetty takaamaan tunnettu markkinahinta tuotteille, joiden hinnan vaihtelu on liian epävakaista. Sähkökaupassa johdannaistuotteilla taataan tietty hinta sähkölle, määritetylle tulevaisuuden ajanjaksolle. Nasdaq OMX tarjoaa Suomen sähkömarkkinatoimijoille erilaisia johdannaistuotteita kuten futuureja, forwardoja, optioita ja CfD:tä (Contracts for Differences). Sähköjohdannaiskauppoja voidaan tehdä vain muutamia päiviä eteenpäin tai maksimissaan jopa kuusi vuotta eteenpäin. (Nasdaq OMX Commodities 2014) Sähkömarkkinatoimijat voivat vaihtoehtoisesti suojata sähkönhankinnan, tekemällä kiinteähintaisen sähkösopimuksen sähkönmyyjän kanssa.

2.3.2 Elspot-markkinat

Elspot-markkina (day-ahead) on Pohjoismaisen sähköpörssin Nord Pool Spot:n pääkaupankäyntimarkkina. Vuonna 2013 Elspot-markkinoiden kaupankäyntivolyymi nousi kaikkien aikojen korkeimmalle tasolle, 348,9 TWh:n. (Nord Pool Spot 2014a)

Elspot-markkinoilla seuraavan vuorokauden osto- ja myyntitarjoukset jätetään kello 13 mennessä Suomen aikaa Nord Pool Spot:lle. Sulkeutumishetki Elspot-markkinoilla on 12-36 tuntia ennen fyysistä sähkön toimitusta. Markkinaosapuolet antavat osto- ja myyntitarjouksia, jotka pitävät sisällään ostettavan tai myytävän sähkön hinnan ja määrän jokaiselle vuorokauden tunnille. Yksittäiselle tunnille tarjottavan sähkön määrän minimi on 0,1 MWh/h ja hintaraja yksittäiselle tunnille on 0-2000 €/MWh. Elspot-markkinoilla ostotarjous on mahdollista muuttaa myyntitarjoukseksi ja toisinpäin, jos sähkön hinta nousee tai laskee riittävälle tasolle. (Elinkeinoelämän keskusliitto EK ry 2009b)

Elspot-markkinoille voidaan tehdä tarjouksia yksittäiselle tunnille tai usealle peräkkäiselle tunnille (vähintään kolme peräkkäistä tuntia). Usealle tunnille tehtyjä tarjouksia kutsutaan blokkitarjouksiksi. Blokkitarjoukset eroavat yksittäisten tuntien tarjouksista, koska niille tarjous toteutuu joko kaikille tunneille tai ei ollenkaan. Nord Pool Spot tekee osto- ja myyntitarjouksien perusteella yhdistetyn osto- ja myyntikäyrän jokaiselle tunnille ja laskee käyrien leikkauspisteen, josta saadaan jokaiselle tunnille systeemiin-

ta. Laskennan tuloksena julkistetaan sähkön hinnat ja optimoidut siirrot markkina-alueiden välillä, joiden perusteella muodostuvat aluekohtaiset systeemihinnat. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008a, s. 16)

2.3.3 Elbas-markkinat

Elbas-markkina (Intra-day) on toimitusta edeltävän vuorokauden sisäinen jälkimarkkina Elspot-kaupalle. Elbas-kaupankäynnin volyymi oli vuonna 2013 puolestaan 4,2 TWh. (Nord Pool Spot 2014). Elbas-markkinan kaupankäyntivolyymit ovat olleet määrältään toistaiseksi vaatimattomia. Markkinan koko on kuitenkin moninkertaistunut viimeisen viiden vuoden aikana, suurimmaksi osaksi nopeasti vaihtelevan sähköntuotannon eli lähinnä tuulivoiman kasvavan markkinakapasiteetin myötä. (Energiateollisuus Ry 2013b)

Elbas-markkinalla voidaan tasapainottaa Elspot-kaupassa syntyneitä kysynnän ja tarjonnan eroja. Elbas-markkinan kapasiteetti seuraavalle päivälle julkaistaan kello 15 Suomen aikaan. Kaupankäyntiä pyritään tekemään mahdollisimman lähellä, kuitenkin viimeistään tuntia, ennen sähkön fyysistä toimitusta. Kun kaupankäynnin ajankohta lähestyy sähkönkäytön ajankohtaa, sähkönkuluttaja tietää paremmin todellisen sähkönkulutustarpeensa. Tämän johdosta Elbas-markkina soveltuu hyvin sähkön kulutuksen ja hankinnan tasapainottamiseen. (Elinkeinoelämän keskusliitto EK ry 2009b)

Elbas-markkinalla kaupankäyntiä käydään tunneille, joilla on jo olemassa Elspot-hinta. Tuntikohtainen hinta määräytyy osto- ja myyntitarjouksien perusteella, jotka ovat nähtävissä nimettöminä. Sähkökauppa tapahtuu kahden osapuolen välillä, kun tuntikohtaiset osto- ja myyntitarjoukset kohtaavat. Nord Pool Spot on solminut sopimuksia markkinatakaajien kanssa, jotka antavat Elbas-markkinoille aina myynti- ja ostotarjouksia. Markkinatakaajat parantavat Elbas-markkinoiden toimivuutta ja helpottavat käyttötuntia edeltävän pidemmän aikavälin sähkön ostoa tai myyntiä. (Elinkeinoelämän keskusliitto EK ry 2009b)

2.4 Tasehallinta

Tasehallinnalla tarkoitetaan toimintaa, jossa sähkömarkkinoiden osapuolet pyrkivät suunnittelemaan sähkön hankintansa niin, että se vastaa suunniteltua kulutusta ja tuotantoa. Markkinatoimijat ovat vastuussa omasta sähkönkulutuksen ja -tuotannon suunnitte-

lusta ja tasapainottamisesta. Sähkönkulutusta ja -tuotantoa on kuitenkin mahdotonta suunnitella täydellisesti etukäteen, minkä takia toimijan on poistettava yli- tai alijäämäinen kulutus tasesähköllä. (Fingrid Oyj 2014j)

Tasehallinnan periaatteet Suomen sähkömarkkinoilla on esitetty kuvassa 9. Itsenäiset sähkömarkkinatoimijat pyrkivät tasoittamaan tasettaan Nord Pool Spot:n Elspot- ja Elbas-markkinoilla. Suomen valtakunnallisesta tasehallinnasta vastaa puolestaan Fingridin tasesähköyksikkö. Valtakunnallisen tehotasapainon periaatteet on esitetty tarkemmin kappaleessa 2.1.

Käyttötunti +12h - 36h	Käyttötunti + 1 - 32h	Käyttötunti
ELSPOT	ELBAS	Reservit Säätösähkömarkkinat
Kahden välinen sähkökauppa		
Fyysinen sähkökauppa Markkinatoimijat		Tasehallinta Fingrid

Kuva 9 Tasehallinta Suomen sähkömarkkinoilla. (Jäppinen, J 2013)

2.4.1 Taseselvitys

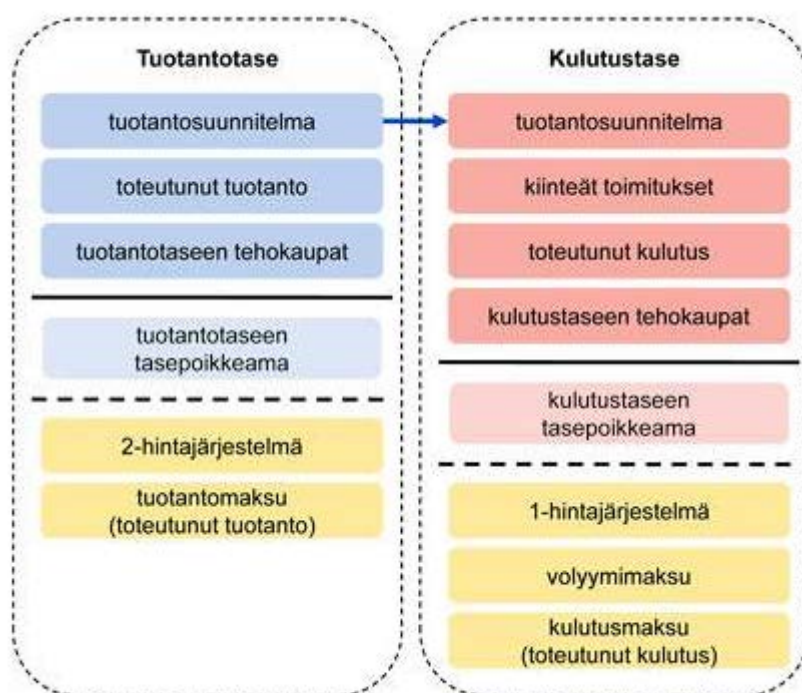
Taseselvityksessä selvitetään sähkömarkkinoilla toimivien osapuolten väliset sähkön-toimitukset jakamalla toimitukset avointen toimitusten ketjuihin. Taseselvityksen tekeminen eri osapuolien välillä on esitetty kuvassa 10. Suomen sähkömarkkinalaki edellyttää, että jokaisella sähkömarkkatoimijalla on oltava avoin toimittaja, joka toimittaa asiakkaallensa sähköenergiaa toteutuneen kulutuksen perusteella. Toimitusketjun ylin toimittaja on Fingridin tasesähköyksikkö, joka on tasevastaavien avoin toimittaja. Tasevastaajilla on tasepalvelusopimus Fingridin kanssa, minkä mukaisesti tasevastaavat tasapainottavat oman taseensa ostamalla sähköä suoraan Fingridin tasesähköyksiköltä. Tasevastaavien toimitusketjussa voi olla verkkoja ja osapuolia, joiden toimitusketjussa voi olla edelleen verkkoja ja muita osapuolia. Tärkeintä on, että kaikilla toimitusketjuun kuuluvilla toimijoilla on avoin toimittaja, joka vastaa tasehallinnasta. (Fingrid Oyj 2014k)



Kuva 10 Taseselvityksen osapuolet Suomessa. (Fingrid Oyj 2014k)

2.4.2 Tasepalvelumalli

Suomessa käytössä oleva kahden taseen palvelumalli otettiin käyttöön vuonna 2009. Tasepalvelumallin toimintaperiaatteet on havainnollistettu kuvassa 11. Nykyisen tasepalvelumallin tase muodostuu sekä tuotanto- että kulutustaseesta. Kun tasevastaavan tuotantotaseen tasepoikkeama on negatiivinen, tasevastaava joutuu ostamaan sähköä Fingridiltä ja tasepoikkeaman ollessa positiivinen Fingrid ostaa sähköä tasevastaavalta. Kulutustaseen tasepoikkeamalle pätevät samat säännöt kuin tuotantotaseelle. (Fingrid Oyj 2014s)



Kuva 11 Suomen nykyinen kahden taseen tasepalvelumalli. (Fingrid Oyj 2014s)

Tasevastaavan on raportoitava seuraavan päivän tuotantosuunnitelma Fingridille viimeistään kello 17.30 mennessä. Fingrid tekee seuraavan vuorokauden tuotantoennusteen summaamalla kaikkien tasevastaavien tuotantosuunnitelmat yhteen. Fingrid muodostaa todellisen tuotantosuunnitelman sitovien tuotantosuunnitelmien perusteella, jotka on toimitettava Fingridille 45 minuuttia ennen käyttötuntia. Toteutunut tuotanto mitataan rajapisteissä, jotka on määritelty voimalaitosverkoittain. (Tasepalvelun sovellusohje 2013, Liite I, s. 5)

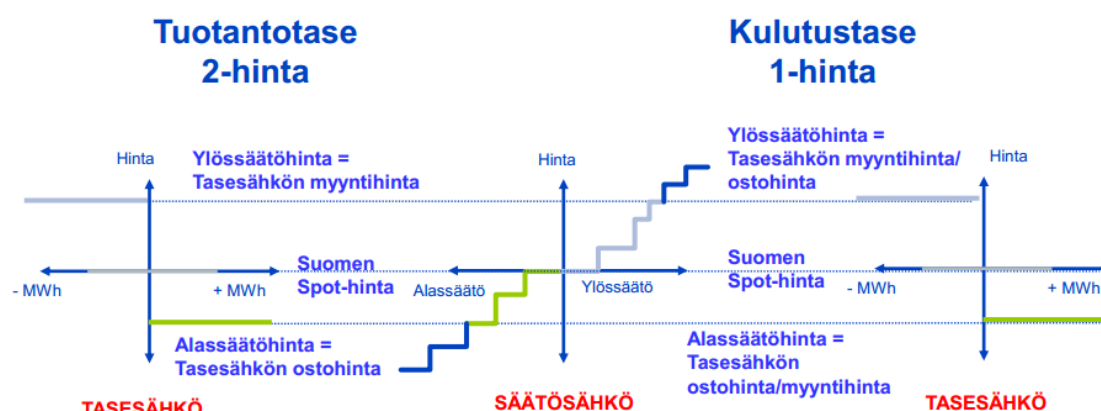
Kiinteillä toimituksilla tarkoitetaan kauppaa, jossa sähkömarkkinaosapuoli toimittaa toiselle osapuolelle määrätyn verran sähköenergiaa sovitulla tunnilla. Positiivinen kiinteä toimitus on tasemallissa ostoa ja negatiivinen toimitus myyntiä. Sähkömarkkinaosapuolien on ilmoitettava kiinteät toimitukset 45 minuuttia ennen käyttötuntia omalle tasevastaavalle, jonka on puolestaan ilmoitettava kiinteät toimitukset Fingridille viimeistään 20 minuuttia ennen käyttötuntia. Säätosähkömarkkinoilla tehdyt säädöt, erikoissäädöt sekä tunninvaihdessäädöt käsitellään tasemallissa tehokauppoina.

(Tasepalvelun sovellusohje 2013, Liite I, s. 6)

2.4.3 Kaksi- ja yksihintajärjestelmä

Tasesähkön hinta muodostuu kyseiselle tunnille Suomen säätösähkö- ja Elspot-markkinahinnan mukaan. Tasesähkön hintana käytetään Elspot-markkinahintaa tilanteessa, jossa säätösähkömarkkinoille ei ole tehty lainkaan säätöjä tai jos säätöjä on tehty yhtä paljon molempiin suuntiin. Tunneilla, joilla on tehty toisistaan eroava määrä ylös- ja alassäätöjä, tasesähkön hinnaksi muodostuu ylös- tai alassäätöhinta sen mukaan mihin suuntaan säätöjä on tehty enemmän. (Tasepalvelun sovellusohje 2013, Liite II, s. 1)

Tasesähkön hinnan muodostuminen on esitetty kuvassa 12. Tuotantotaseen kaksihintajärjestelmässä tasesähkön hinta lasketaan molemmille ostolle ja myynnille. Tasesähkön myyntihinta Fingridille on ylössäätöhinta ja ostohinta alassäätöhinta. Kulutustaseen yksihintajärjestelmässä myynti- ja ostohinnat ovat yhtä suuret.



Kuva 12 Tasesähkön ja säätösähkön yhteys tasesähkön hinnanmuodostumisessa. (Lintunen, P 2008)

3 Kysyntäjoustopuon tarve Suomen sähkömarkkinoilla

Suomen nykyisen sähkömarkkinatilanteen johdosta, kysyntäjoustopuosta on tullut yhä tärkeämpi vaihtoehto sähköjärjestelmän ylläpitämisessä. Kysyntäjoustopuon hyödyntäminen sähkömarkkinoilla tuo paljon etuja markkinoiden eri osapuolille ja voi vähentää kanta-verkkoyhtiön kustannuksia. Tässä luvussa kuvataan Suomen sähkömarkkinoiden kehitys nykytilanteeseen asti ja pohditaan markkinoiden kehittymistä tulevaisuudessa. Lisäksi luvussa perustellaan kysyntäjoustopuon hyödyntämisen edullisuutta nykyisessä markkinatilanteessa.

3.1 Suomen sähkömarkkinoiden kehitys

Suomessa sähkömarkkinat avautuivat vuonna 1995, kun voimaan astui sähkömarkkinalaki, joka antoi suurille käyttäjille (yli 500 kW) mahdollisuuden valita sähköntoimittajansa vapaasti. Vuonna 1998 sähkömarkkinat avattiin myös täydellisesti kotitalousasiakkaille, kun vaatimus sähkön tuntikohtaisesta mittaroinnista poistettiin. Tämän seurauksena sähkön kilpailuttaminen avautui kaikille kuluttajille. Suomi liittyi samana vuonna Nord Pool Spot:in, eli Pohjoismaiden yhteiseen sähköpörssiin, joka yhdistää pohjoismaiset sähkömarkkinat. (VTT Prosessit 2004)

Sähkömarkkinoiden avautuminen ja yhteinen sähköpörssi Nord Pool Spot, muuttivat sähkömarkkinoiden kaupankäyntirakennetta huomattavasti. Yhteisen sähköpörssin myötä kaupankäynti aktivoitui pohjoismaiden välillä, minkä seurauksena sähkömarkkinat muuttuivat dynaamisemmiksi. Markkinaintegraatio mahdollisti muun muassa Norjalaisen ja Ruotsalaisen tehokkaamman vesivoimakapasiteetin hyödyntämisen Suomessa. Nykyään jopa 62 % pohjoismaisesta ylössäädöstä ja 63 % alassäädöstä toteutetaan Fingridin mukaan Norjan vesivoimalla (ÅF-Consult 2012, s. 45).

Suomen sähkömarkkinoiden kehityksen suurimmat vaikuttajat ovat olleet kansalliset tavoitteet ja Euroopan unionin energia- ja ilmastopolitiikka. Euroopan unioni asetti vuonna 2009 lainsäädäntöpakettin, jonka mukaan EU-alueen kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi uusiutuvan energian osuutta kokonaisenergiakulutuksesta tulisi kasvattaa 20 prosenttiin EU-alueella ja 38 prosenttiin Suomessa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013b)

Vuonna 2008 valmistuneen Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) tekemän energia- ja ilmastostrategian pääfokuksena ovat energiaomavaraisuuden takaaminen ja EU-politiikan vaatimat uusiutuvaan energiaan liittyvät toimenpiteet (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008b, s. 32, 36). Suurimmat muutokset sähkömarkkinoilla tullaan näkemään kasvavassa tuuli- ja ydinvoiman tuotantokapasiteetissa. Tuulivoimatuotannon lisääminen on tärkeässä asemassa uusiutuvan energian ja etenkin sähköntuotantoon liittyvien tavoitteiden saavuttamisessa.

Suomen valtio tukee tuulivoimaloiden, biokaasuvoimaloiden ja puupolttoainevoimaloiden uuden tuotantokapasiteetin lisäämistä syöttötariffijärjestelmällä, joka takaa sähkön tuottajille kannattavan sähkön myyntihinnan. Syöttötariffijärjestelmä otettiin käyttöön Suomessa vuonna 2011. Syöttötariffijärjestelmään hyväksytyille laitoksille, maksetaan syöttötariffina tavoitehinnan ja kolmen kuukauden sähkön markkinahinnan erotus. Tavoitehintaa tuotannolle on 83,5 €/MWh, paitsi tuulivoimaloille, joille maksetaan korotettua syöttötariffia (tavoitehintaa 105,3 €/MWh) maksimissaan kolmen vuoden ajan vuoden 2015 loppuun asti. Energiaviraston vastuulla on hyväksyä tuotantolaitokset syöttötariffijärjestelmään, maksaa syöttötariffikorvaukset sekä hoitaa muita syöttötariffeihin liittyviä viranomaistehtäviä. (Laki 2010/1396, Motiva Oy 2013)

Energia- ja ilmastostrategia linjaa myös tärkeäksi tavoitteeksi sähkönhankinnan omavaraisuuden turvaamisen. Strategian tavoitteena on taata muiden Pohjoismaiden ja etenkin Venäjän tuonnista riippumattomampi sähköntuotantorakenne Suomeen. Päivitetyt energia- ja ilmastostrategian mukaan omavaraisuuteen liittyvät vuoden 2020 tavoitteet saavutetaan ydinvoimatuotannon lisäämisellä sekä hajautetun sähköntuotannon kuten tuulivoiman tukemisella. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013a, s. 13)

3.2 Sähkömarkkinoiden nykytila Suomessa ja Pohjoismaiset sähkömarkkinat

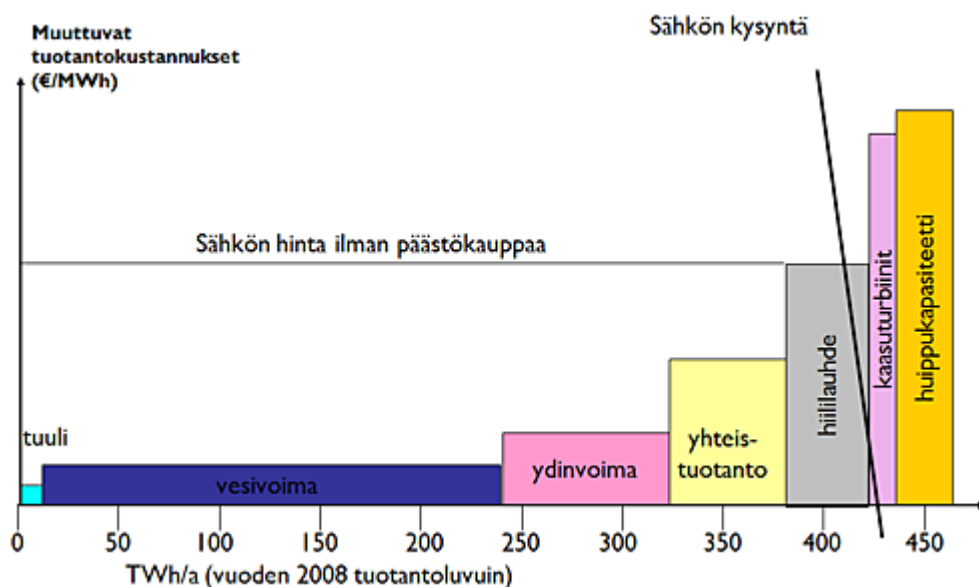
3.2.1 Sähkön hinnan muodostuminen

Sähkön markkinahinta muodostuu Nord Pool Spot:n sähkömarkkinoilla kysynnän ja tarjonnan perusteella. Rajoitetun rajasiirtokapasiteetin takia Suomella on Nord Pool Spot:n markkinoilla oma aluehinta. Voimalaitosten ajojärjestys, jolla tarkoitetaan järjestystä missä eri sähköntuotantomuotojen laitoksia otetaan käyttöön, perustuu sähkön ky-

syntään. Kun sähkön kysyntä on vähäistä, sähkön hinta pysyy myös matalana, koska kysyntään voidaan vastata tuotantolaitoksilla, joilla on pienet muuttuvat tuotantokustannukset. Näitä tuotantomuotoja Nord Pool Spot:n markkinoilla ovat vesivoima, ydinvoima sekä lämmön ja sähkön yhteistuotanto. Muuttuvat tuotantokustannukset koostuvat pääasiassa polttoainekustannuksista veroineen ja päästöoikeuksien ostamiseen liittyvistä kustannuksista.

Kun sähkön kysyntä kasvaa, kysyntää ei pystytä tyydyttämään enää tuotantolaitoksilla, joilla on alhaiset muuttuvat kustannukset. Tämän johdosta joudutaan ottamaan käyttöön tuotantolaitoksia, joilla on korkeammat muuttuvat kustannukset kuten hiililauhdetuotantoa ja kaasuturbiineja. Sähkön tuotantokustannusten noustessa myös sähkön markkinahinta nousee.

Lyhyellä aikavälillä sähkön markkinahinta voi muuttua huomattavasti, johtuen vaihtelevasta sähkönkulutuksesta ja sähkön varastoinnin rajallisuudesta. Pohjoismaisilla markkinoilla tuotantolaitosten ajojärjestykseen vaikuttaa myös vesivarantojen määrä, joka on riippuvainen sateen määrästä. Kuvassa 13 on esitetty sähkön hinnan muodostumisen periaate pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla eri tuotantomuotojen mukaan. (VTT Prosessit 2004).



Kuva 13 Pohjoismaisten markkinoiden sähköntuotannon rakenne. (Suomen EIfi Oy 2014)

3.2.2 Tuotantokapasiteetti

Kuvassa 14 on esitetty Suomen sähköntuotantokapasiteetti vuonna 2012 eri tuotantomuotoihin eriteltynä. Suomen sähköntuotantorakenne on erittäin monipuolinen, mikä mahdollistaa hyvin toimivat sähkömarkkinat. Suurin ongelma sähkömarkkinoilla on liiallinen riippuvuus ulkomaisesta sähköntuonnista (ÅF-Consult 2012, s.20). Vuonna 2013 vain sähkönhankinnasta 81,3 % on tuotettu kotimaisella kapasiteetilla, minkä seurauksena Suomi on joutunut turvautumaan sähkön tuontiin naapurimaista (Energiateollisuus Ry 2014a s. 8).

Sähköntuotannon peruspilareita ovat vesivoima, ydinvoima sekä lämmön ja sähkön yhteistuotanto teollisuudessa ja kaukolämpölaitoksissa (ÅF-Consult 2012, s.20). Lauhdevoimalla ja kaasuturbiineilla on tärkeä rooli sähköntuotannossa, sillä niitä tarvitaan sähkönkysynnän noustessa korkealle tasolle. Lisäksi lauhdevoima ja etenkin kaasuturbiinit soveltuvat hyvin säätösähkökapasiteetiksi niiden hyvien säätöominaisuuksien ansiosta. (ÅF-Consult 2012, s. 22 ja 29) Teollisen tuulivoiman tuotantokapasiteetti Suomessa oli vuoden 2013 lopussa noin 447 MW. Tuulivoimakapasiteetti on kasvanut noin 190 MW viimeisen vuoden aikana. (VTT 2014)

Tuotantomuoto	nykyinen tilanne		tilanne 2030	
	perusvoima MW	säätövoima MW	perusvoima MW	säätövoima MW
Ydinvoima	2 660	-	4000 – 6000	-
Teollisuus-chp	3 300	500	vähenee hieman	ennallaan
Kaukolämpö-chp	4 400	1 000 – 3 000*	vähenee hieman	ennallaan
Lauhde	-	3 300	-	vähenee
Vesivoima	3 100	2 000 *	3 300 -3 370	2 200 – 2 270
Kaasuturbiinit	-	780 + 300	-	kasvaa?
Tuulivoima	220	-	4 000	-
Tuonti				
Venäjä	1 000	-	loppuu?	-
Ruotsi		1 500		vähenee

*käytettävissä oleva kapasiteetti vaihtelee mm. sään, lämpötilan ja vuodenaajan mukaan

Kuva 14 Suomen sähköntuotantokapasiteetti vuonna 2012 ja 2030 (ÅF-Consult 2012, s. 112)

3.2.3 Huippukapasiteetti

Sähkön vuosittaiset kulutushuiput Suomessa esiintyvät talvikaudella kylmän pakkassään seurauksena. Viime vuosien kulutushuiput ovat olleet noin 14 000 MW:n tasolla: 14 320 MW tammikuussa 2010, 14 804 MW helmikuussa 2011 ja 14 304 MW helmikuussa 2012 (Fingrid Oy 2012a).

Energiamarkkinavirasto arvioi sähkön huipputuotantokapasiteetin, joka pitää sisällään reservitehon, olevan 13 300 MW talvikaudella 2012-2013. Kulutuksen huipuksi arvioitiin 15 200 MW, mikä tarkoittaa, että Suomessa on noin 2000 MW:n kapasiteettivaje (Energiateollisuus Ry 2013a). Sähkönkulutushuippuja ei pystytä kattamaan kotimaisella sähköntuotantokapasiteetilla, minkä seurauksena Suomi on riippuvainen sähkön tuonnista huippukulutuksen aikaan (ÅF-Consult 2012, s.16).

3.2.4 Sähköntuotannon säädettävyys

Sähköntuotantomuotojen säädettävyys vaihtelee huomattavasti tuotantomuotojen välillä. Eri sähköntuotantomuotojen säätökapasiteetti Suomessa on esitetty kuvassa 14. Suomessa säätöön osallistuvat vesivoima, lämmön ja sähkön yhteistuotanto, lauhdevoima ja kaasuturbiinit. Suomi hyödyntää lisäksi ulkomaista säätöön pystyvää tuotantokapasiteettia kuten Ruotsin vesivoimaa.

Nykytilanteessa vuorokauden sisäisestä säädöstä toteutetaan noin 40 % vesivoimalla, 30 % Pohjoismaisella tuontisähköllä, 15 % lauhdesähköllä ja viimeiset 15 % lauhdevoimalla sekä yhdistetyllä sähkön- ja lämmöntuotannolla. (Jäppinen, J 2013) Tunnin sisäisestä säädöstä noin 85 % katetaan vesivoimatuotannolla (Kemijoki Oy 2014).

Vesivoima soveltuu säätövoimaksi parhaiten kotimaisista sähköntuotantomuodoista. Suomessa suurin osa kulutuserojen tasaamiseen käytettävästä säätökapasiteetista on vesivoimaa. Vesivoima soveltuu erityisen hyvin nopeaan tunnin sisäiseen säätöön. Vesivoimakapasiteettia voidaan kuitenkin hyödyntää vain rajallisesti nopeassa säädössä, vesivarastotasoista riippuen. (ÅF-Consult 2012, s. 18,20)

Myös kaasuturbiinit ja moottorit soveltuvat erinomaisesti säätösähköksi, koska ne voidaan käynnistää nopeasti, niiden tehonmuutosnopeus on suuri ja minimiteho alhainen (ÅF-Consult 2012, s. 18,19). Lisäksi lauhdevoimaa sekä yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa voidaan hyödyntää säätökapasiteettina, mutta niiden säädettävyys etenkin lyhyellä aikavälillä on rajoittunutta (ÅF-Consult 2012, s. 18,19).

Ydinvoimaa on teknisesti mahdollista käyttää säätökapasiteettina, mutta Suomessa säätömahdollisuuksia on rajoitettu Säteilyturvakeskuksen toimesta. Tämän seurauksena

Suomen nykyinen ydinvoimakapasiteetti ei sovellu säätökapasiteetiksi. (ÅF- Consult 2012, s. 20)

Tuulivoiman tuotantomäärä vaihtelee sääolosuhteiden mukaan, minkä takia sitä ei voida hyödyntää säätövoimana. Päinvastoin, epätasaisen tuotannon takia laajamittainen tuuli-voima lisää säätösähkön tarvetta. Lisäksi tuulivoiman tuotanto vaatii erilaisia mekanismeja tasoittamaan nopeasti vaihtelevaa ja epätasaista tuotantoa. (Matilainen, J 2009)

3.2.5 Lauhdevoiman nykytilanne

Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon sekä lauhdetuotannon nykyinen markkina-asema ja tuotantolaitosten kannattavuus ovat heikentyneet viime aikoina. Talouden taantuma ja sähkön markkinahinnan aleneminen ovat hankaloittaneet yhteistuotannon ja lauhdetuotannon asemaa Suomen sähkömarkkinoilla. Lisäksi iso osa Suomen lauhdevoimalaitoskapasiteetista on vanhaa ja alkaa lähestyä käyttöikänsä loppua (ÅF-Consult 2012, s.22). Tuotantolaitosten heikko kannattavuus ei kannusta uusiin investointeihin, minkä takia etenkin lauhdetuotannon kapasiteetti tulee vähenemään tulevaisuudessa.

Lauhdevoimalaitosten jatkokäyttöä säätövoimana hankaloittaa myös IE-direktiivi (Industrial Emissions), joka tulee voimaan vuonna 2016. IE-direktiivi asettaa yli 50 MW:n polttolaitoksille entistä tiukemmat päästörajat rikki-, typpi-, hiilimonoksidi- ja hiukkas-päästöille. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU) IE-direktiivin vaatimien muutosten takia energiayhtiöt joutuvat tekemään suuria lisäinvestointeja voimalaitoksille, mikäli niitä halutaan käyttää tulevaisuudessa (Makkonen, J 2013). Pohjolan Voima arvioi, että IE-direktiivien edellyttämien muutosten toteuttaminen yhtiön voimalaitoksille vaatisi yli sadan miljoonan euron investointeja (Pohjolan Voima Oy 2012, s. 19).

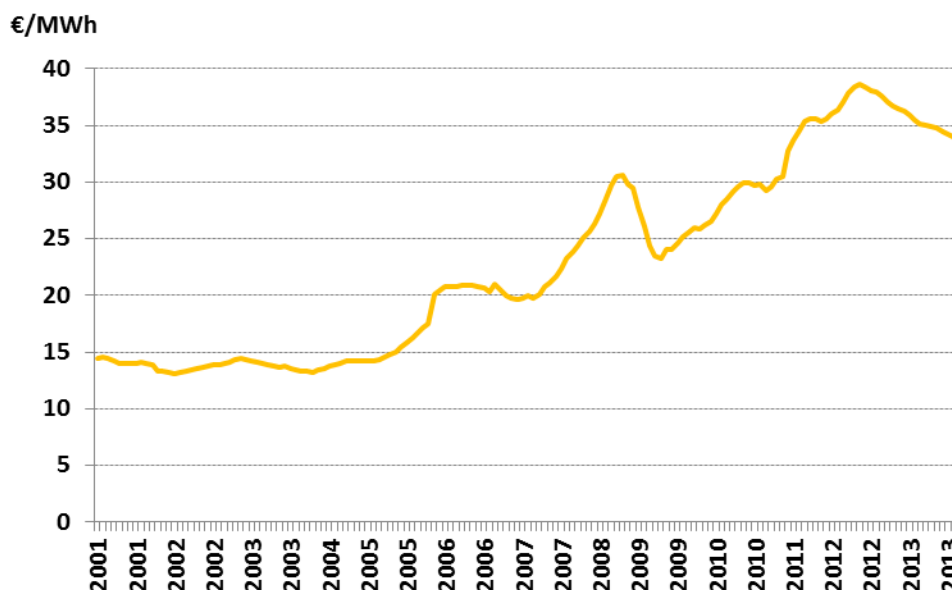
Heikon sähkömarkkinatilanteen ja IE-direktiivin vaikutukset näkyvät Suomessa konkreettisesti ennenaikaisina voimalaitosten sulkemisina. Fortum sulkee Inkoon hiilivoimalan helmikuussa 2014, minkä seurauksena käytöstä poistuu neljä 250 MW:n yksikköä, joista osa on ollut pitkiä aikoja pois markkinoilta pidennetyssä käynnistysvalmiudessa. Viime vuosikymmenet Inkoon voimalaitos on toiminut varavoimalaitoksena ja tuottanut suurimmaksi osaksi sähköä ainoastaan kulutushuippujen aikana. Päätös voimalaitoksen sulkemisesta tehtiin heikon kannattavuuden seurauksena. (Fortum Oyj 2013)

3.2.6 Maakaasun asema Suomessa

Maakaasun kilpailukyky muihin polttoaineisiin nähden on heikentynyt huomattavasti viime vuosina kallistuneen hinnan ja veronkorotusten seurauksena. Maakaasun kilpailukykyyn vaikuttaa lisäksi sähkön ja päästöoikeuden hinta. Heikon kilpailukyvyn seurauksena maakaasua on korvautunut merkittävästi kesästä 2011 lähtien hiilellä ja turpeella. (Pöyry Management Consulting Oyj 2012)

Vuonna 2010 päätetyt lämmöntuotannon veronkorotukset maakaasulle tulevat voimaan portaittain. Maakaasun verotus lämmöntuotannossa nousi 1.1.2011 alkaen 9,024 euroa/MWh tasolle, 1.1.2013 alkaen 11,524 euroa/MWh tasolle ja verotus nousee edelleen 1.1.2015 alkaen 13,724 euroa/MWh tasolle. (Suomen tulli 2010) Sähkön ja – lämmöntuotannossa verotus on noin 3 euroa/MWh alemmalla tasolla kuin pelkässä lämmöntuotannossa, koska sähköntuotannon osuutta ei veroteta tuotannossa. Maakaasun verotus sähkön ja -lämmöntuotannossa nousee noin 3 euroa/MWh enemmän kuin kivihiilen ja turpeen vero, mikä heikentää maakaasun kilpailukykyä. (Pöyry Management Consulting Oyj 2012)

Maakaasun veroton hintahistoria tyyppikäyttäjärühmälle T8 on esitetty kuvassa 15. T8 tyyppikäyttäjärühmä kuvaa parhaiten maakaasun hintaa, koska se on lähimpänä suurimpien maakaasun kuluttajien maksamaa hintaa. Maakaasun hinta on yli kaksinkertaistunut vain noin kymmenen vuoden aikana Suomessa. Jos inflaatio otetaan huomioon, hinta on silti lähes kaksinkertaistunut viimeisen kymmenen vuoden aikana.



Kuva 15 Maakaasun tyyppikäyttäjärühmän T8 veroton kokonaishintakehitys Suomessa vuosina 2001-2013. (Datan lähde: Energiamarkkinavirasto 2013a)

Konkreettisena esimerkkinä maakaasun heikosta kilpailukyvyystä ja sähkömarkkinoiden tilanteesta kertoo Mussalon voimalaitoksen enneaikainen sulkeminen. Pohjolan Voima on päättänyt lopettaa Kotkan Mussalossa sijaitsevan maakaasua käyttävän voimalaitoksen tuotannollisen toiminnan. Mussalon voimalaitosten kannattavuus on heikentynyt maakaasun huonon kilpailuaseman myötä. Lisäksi kannattavuutta heikensi laitoksen muuttaminen lauhdevoimalaitokseksi vuonna 2007. Mussalon voimalaitoksen sulkemisen myötä säätösähköksi ja tehoreserviksi soveltuvaa tuotantokapasiteettia poistuu enneaikaisesti 313 MW:n verran. (Pohjolan Voima Oy 2013)

3.3 Tuotantokapasiteetin muutokset tulevaisuudessa

Kuvassa 14 kuvataan Suomen sähköntuotantokapasiteetin kehitystä vuoteen 2030 mennessä. Seuraavissa kappaleissa on esitetty tarkemmin vesivoiman, ydinvoiman ja muun uusiutuvan sähköntuotannon sekä rajasiirtokapasiteetin tulevaisuuden kehitystä.

3.3.1 Vesivoima

Vesivoimakapasiteettia on mahdollista kasvattaa noin 200 MW vuoteen 2030 mennessä nykyisten laitosten tehonnostoilla ja rakentamalla lisää vesivoimaa kohteisiin, joita ei suojella (ÅF-Consult Oy 2012, s. 71). Vesivoimakapasiteetin lisäykset säätövoimaa ajatellen ovat varsin pieniä, koska kokonaiskapasiteettia ei pystytä enää lisäämään merkittävästi.

3.3.2 Ydinvoima

Ydinvoimakapasiteetti tulee kasvamaan merkittävästi lähitulevaisuudessa Teollisuuden Voiman ja Fennovoiman uusien laitosten valmistuessa. Olkiluoto 3 on sähköteholtaan 1600 MW ja sen uskotaan olevan valmis ennen vuotta 2020. Olkiluoto 3 tulee nostaamaan nopean häiriöreservin tarvetta 1300 MW:n tasolle valmistuessaan. (Jäppinen, J 2013). Valtioneuvosto on hyväksynyt Teollisuuden Voiman periaatepäätöshakemuksen uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentamisluvasta (Teollisuuden Voima Oyj 2013). Lisäksi Fennovoiman ydinvoimahankkeen periaatepäätöksen täydentämishakemus on tällä hetkellä valtioneuvoston käsittelyssä. (Fennovoima Oy 2014) Fennovoiman ja Olkiluodon neljännen ydinvoimalaitoksen oletetaan valmistuvan 2020-luvun aikana.

Uusi ydinvoimakapasiteetti tulee korvaamaan lauhdetuotantoa tulevaisuudessa. Säädetävän sähköntuotantokapasiteetin määrä Suomessa vähenee tämän seurauksena lähivuosina, koska ydinvoiman säätömahdollisuudet ovat varsin rajoitettuja.

3.3.3 Tuulivoima ja aurinkosähkö

Energia- ja ilmastostrategiassa on asetettu tavoitteeksi 6 TWh vuotuista sähköntuotantoa tuulivoimalla vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013a, s. 28). Tämä vastaa noin 2500 MW:n tuotantokapasiteettia, joka pyritään saavuttamaan syöttötariffijärjestelmän avulla. Syöttötariffijärjestelmään hyväksytään uusia tuulivoimaloita vuoteen 2020 asti tai kunnes 2500 MW:n kokonaiskapasiteetti tavoite on saavutettu. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012)

Päivitetyssä energia- ja ilmastostrategiassa on asetettu 9 TWh:n vuotuinen tuotantotavoite tuulivoimalle vuoteen 2025 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013a, s. 28). Tämä tavoite on Työ- ja elinkeinoministeriön asettama, eikä näin ollen ole sidoksissa EU:n tavoitteisiin. Maa-alueille rakennettavan tuotantokapasiteetin ei uskota pystyvän kattamaan 9 TWh:n vuotuista sähköntuotantotavoitetta, minkä takia merituulivoiman rakentaminen on todennäköistä tulevaisuudessa.

Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti on nykyisin alle 10 MW Suomessa, mistä suurinta osaa ei ole kytketty sähköverkkoon (Fortum Oyj 2014). Aurinkopaneelien hinnan laskun myötä kapasiteetin uskotaan kasvavan kuitenkin runsaasti seuraavan vuosikymmenen aikana.

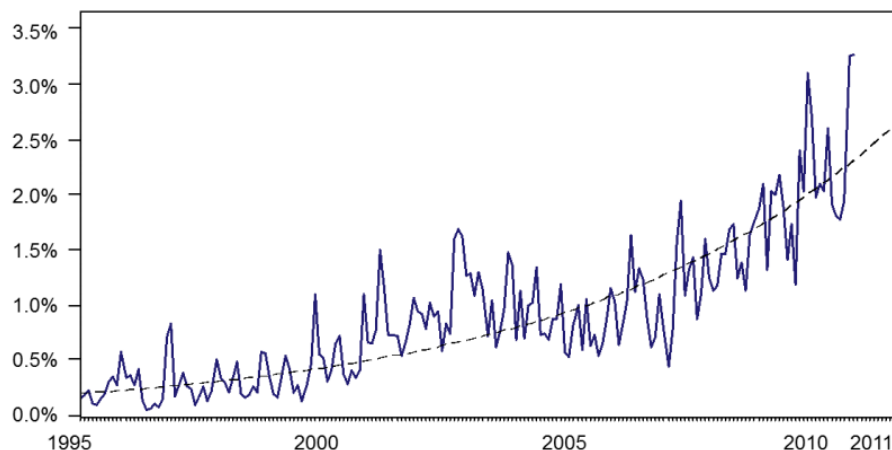
3.3.4 Siirtoyhteydet

Suomen rajasiirtokapasiteettia koskevat tavoitteet linjattiin Fingridin tekemässä kanta-verkon kansallisessa 10-vuotissuunnitelmassa. Suomen ja Ruotsin välinen Fenno-Skan 2 merikaapeliyhteys valmistui vuonna 2011, jonka myötä sähkömarkkinoiden käyttöön saatiin 800 MW lisää siirtokapasiteettia. Fenno-Skan 2 merikaapeliyhteys nosti kokonaisrajasiirtokapasiteetin Suomen ja Ruotsin välillä 1372 MW:iin. Ahvenanmaan merikaapeliyhteyden oletetaan valmistuvan ennen vuotta 2015, minkä seurauksena siirtokapasiteetti kasvaa enimmillään 80 MW. Venäjän välinen tuontikapasiteetti tulee säilymään ennallaan 100-1300 MW:na, minkä lisäksi sähkönvientimahdollisuuksia Venäjälle yritetään saada käyttöön lähitulevaisuudessa. (Fingrid Oyj 2012b) Suomen ja Viron välinen Estlink 2 siirtoyhteys otettiin käyttöön 6.2.2014, minkä seurauksena Suomen ja Viron välinen siirtokapasiteetti kasvoi 1000 MW:iin. (Fingrid Oyj 2014t)

Lisäksi Keski-Euroopan sähkömarkkinoiden yhdistäminen Pohjoismaisiin markkinoihin saattaa vähentää Norjasta ja Ruotsista saatavan vesivoimakapasiteetin hyödyntämistä Suomessa.

3.4 Yhteenveto

Kuvassa 16 on esitetty kuinka pitkän ajan prosentuaalisesti pohjoismaisen sähköjärjestelmän taajuus on normaalin taajuusalueen 49,9 Hz - 50,1 Hz ulkopuolella. Kuvasta nähdään, että sähköntuotannon ja -kulutuksen välinen ero, josta taajuuden muutokset johtuvat, on kasvanut tasaisesti viimeisen viidentoista vuoden aikana. Tuotannon ja kulutuksen kasvavan epätasapainon myötä sähkömarkkinat tarvitsevat lisää säätökapasiteettia sähköverkon tasapainon ylläpitämiseksi. Taajuuden laatu on heikentynyt hajaute-
tun sähköntuotannon ja etenkin tuulivoiman kapasiteetin kasvun myötä. Lisäksi markkinaintegraation myötä lisääntyneet suuret tehonmuutokset Pohjoismaiden ja Keski-Euroopan välillä ovat heikentäneet taajuuden laatua (Jäppinen, J 2013).



Kuva 16 Pohjoismaisen sähköjärjestelmän taajuuden laadun kehitys. Prosenttiosuus kuvaa kuinka pitkän ajan pohjoismaisen sähköjärjestelmän taajuus on ollut normaalin taajuusalueen (49,9 Hz - 50,1 Hz) ulkopuolella (ENTSO-E 2013)

Kuten tässä luvussa on esitetty, erilaisen säätövoiman tarve lisääntyy siis jatkuvasti Suomen ja Pohjoismaiden sähkömarkkinoilla. Säätövoimakapasiteetin lisääminen Suomessa on kuitenkin haastavaa, minkä takia kysyntäjouaston hyödyntäminen säätökapasiteettina on tärkeää. Suomi on lisäksi riippuvainen tällä hetkellä sähkön tuonnista talvijakson huippukulutuspiikkien aikana.

Kysyntäjouaston hyödyntäminen tehotasapainon säädössä ja reservikapasiteettina tarkoittaa, että Fingridin tarvitsee investoida vähemmän uuteen tuotantokapasiteettiin, jota hyödynnettäisiin säätövoimana ja reserveinä. Fingrid voi maksaa uusien investointien sijaan korkeampia korvauksia kysyntäjoustoja tekeville sähkömarkkinaosapuolille, mikä tekee kysyntäjoudesta kannattavampaa. Kysyntäjouaston hyödyntäminen sähkömarkkinoilla vähentää lisäksi riippuvuutta sähköntuontiin, minkä myötä Suomen energiaomavaraisuus paranee.

Kysyntäjouaston lisääminen Suomen sähkömarkkinoilla on siis edullista koko sähköjärjestelmälle sekä kaikille sähkömarkkinan osapuolille. Tämän takia Fingrid tekee jatkuvasti työtä ja selvityksiä kysyntäjoustokapasiteetin lisäämiseksi Suomen sähkömarkkinoilla.

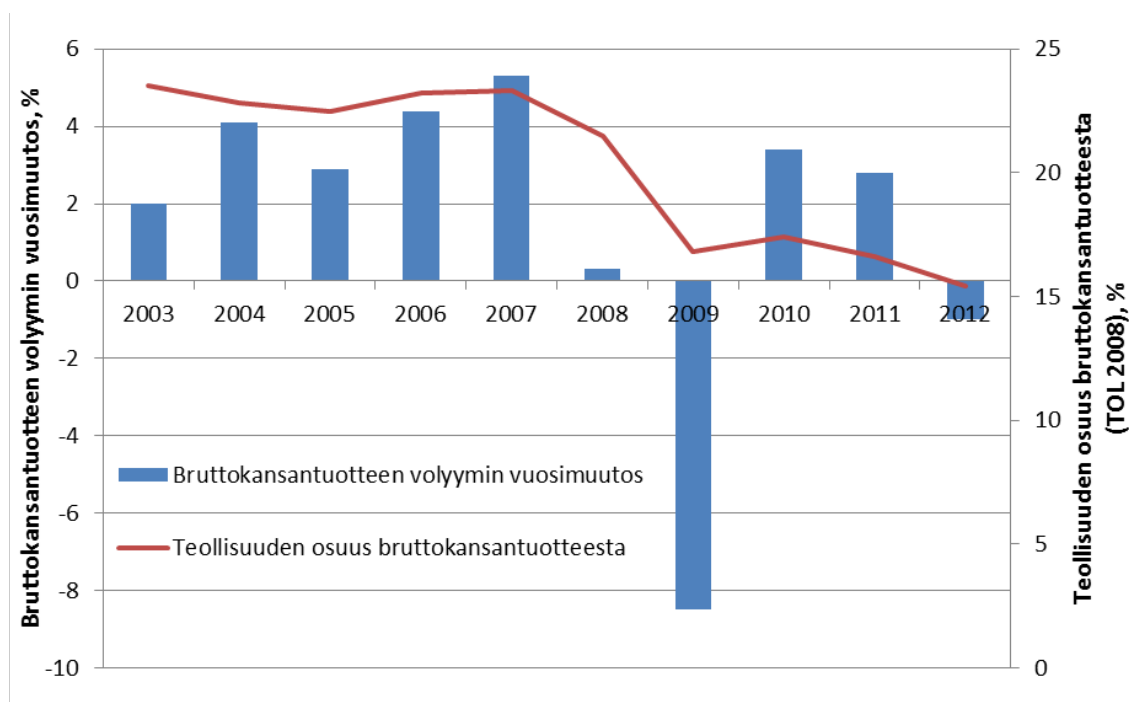
4 Kysyntäjousto Suomessa

Tässä luvussa tutkitaan talouden tilanteen vaikutusta Suomen teollisuuteen ja teollisuuden sähkönkulutukseen sekä kysyntäjousto. Luvussa tarkastellaan lisäksi kysyntäjouston potentiaalia eri teollisuuden aloilla sekä sähkönhankinnan vaikutusta kysyntäjousto. Luvun viimeisessä kappaleessa tutkitaan teollisuuden osallistumista kysyntäjousto muualla maailmassa.

4.1 Talouden ja sähkönkulutuksen kehitys Suomessa

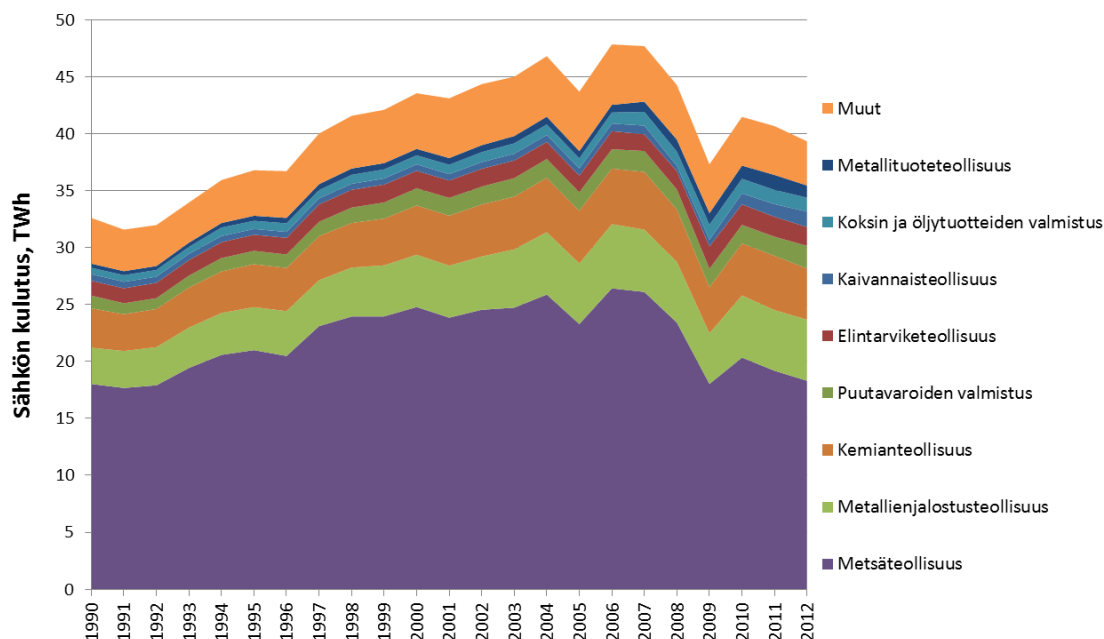
Talouden kehitys Suomessa kääntyi laskuun vuonna 2008 maailmanlaajuisen finanssikriisin seurauksena. Taantumien seurauksena teollisuuden tilanne Suomessa on tiukentunut huomattavasti, minkä takia teollisuustuotanto ja teollisuuden sähkönkulutus ovat laskeneet viime vuosina. Kuvassa 17 on kuvattu Suomen bruttokansantuotteen prosentuaalinen kehitys sekä teollisuuden osuuden kehitys bruttokansantuotteesta vuosina 2003–2012. Bruttokansantuotteen kehitys kuvaa talouden kehitystä.

Suomen bruttokansantuotteen kehitys kääntyi laskuun vuonna 2008. Bruttokansantuote laski merkittävästi vuonna 2009, minkä jälkeen talouden kehitys kääntyi nousuun vuosina 2010 ja 2011. Vuonna 2012 bruttokansantuotteen prosentuaalinen kehitys oli kuitenkin jälleen negatiivinen. Vastaavasti teollisuuden osuus Suomen bruttokansantuotteesta on laskenut jatkuvasti vuoden 2007 jälkeen, mikä kuvaa teollisuuden vaikeaa nykytilannetta.



Kuva 17 Suomen bruttokansantuotteen kehitys ja teollisuuden osuuden kehitys bruttokansantuotteesta vuosina 2003-2012. (Datan lähde: Tilastokeskus 2014)

Suomessa teollisuus vastaa suurimmasta osasta koko maan sähkönkulutusta. Vuonna 2013 teollisuuden sähkönkulutus (39,4 TWh) oli 47 % koko Suomen sähkön kulutuksesta (83,9 TWh). (Energiateollisuus Ry 2014a s. 5) Kuvassa 18 on esitetty Suomen eri teollisuusalojen sähkönkulutus vuosina 1990–2012. Koko teollisuuden sähkönkulutus kasvoi tasaisesti aina vuoteen 2008 asti, minkä jälkeen sähkönkulutus laski huomattavasti kahden seuraavan vuoden aikana. Teollisuuden sähkönkulutuksen väheneminen johtuu pääosassa metsäteollisuuden kiristyneestä tilanteesta. Metsäteollisuuden sähkönkulutus supistui jopa 8 TWh vuosien 2007 ja 2012 välillä. Lisäksi metallinjalostusteollisuuden sekä kemianteollisuuden sähkön kulutus supistui hieman näiden vuosien välillä. Muiden teollisuusalojen sähkönkulutus ei ole laskenut juurikaan viime vuosina. Sen sijaan kaivannaisteollisuuden ja metallituoteteollisuuden sähkönkulutus on jopa kasvanut vuoden 2007 jälkeen.



Kuva 18 Suomen teollisuusalojen sähkönkulutuksen kehitys vuosina 1990-2012. (Datan lähde: Tilastokeskus 2012)

4.2 Kysyntäjouaston nykytila Suomessa

Taloudellisen tilanteen kiristyessä sähkön kysyntäjoustopotentialia on tullut yhä kiinnostavampaa Suomen sähkömarkkinoilla. Kysyntäjoustopotentialia tarjoaa uuden mahdollisuuden kustannussäästöjen tekemiseen sekä korvauksien ansaitsemiseen. Kysyntäjoustopotentialia on kuitenkin vielä uusi asia Suomen sähkömarkkinoilla, minkä takia markkinoilla on vielä paljon hyödyntämätöntä kysyntäjoustopotentialia.

Suurin osa Suomen kysyntäjoustopotentialista muodostuu kolmesta pääryhmästä, joihin kuuluvat: suurteollisuus, pieni- ja keskisuuriteollisuus sekä sähkölämmittäjät. Tässä työssä tarkastellaan ainoastaan teollisuuden mahdollisuuksia kysyntäjoustopotentialia. Tällä hetkellä Suomessa kysyntäjoustopotentialia osallistuvat suurimmaksi osaksi suurteollisuuden yritykset, mutta pienen ja keskisuuren teollisuuden osallistuminen kysyntäjoustopotentialia on kasvamassa jatkuvasti. (ÅF-Consult 2012, s. 47)

Suurteollisuuden osallistumista kysyntäjoustopotentialia on haastava määrittää tarkasti, koska sähkömarkkinoille tehtävät tarjoukset ovat luottamuksellisia. Työ- ja elinkeinoministeriön työryhmä, joka selvitti sähkön kysyntäjoustopotentialia roolia ja tavoitteita sähkömarkkinoilla, arvioi Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) vuonna 2005 tekemän selvityksen perusteella Suomen prosessiteollisuuden kysyntäjoustopotentialiksi noin 1300 MW.

(Työ- ja elinkeinoministeriö 2008a, VTT 2005) Tästä kapasiteetista noin 400 MW ei ole sähkömarkkinoiden hyödynnettävissä kysyntäjoustopotentialina, sillä kyseinen kapasiteetti on Fingridin järjestelmäreservien käytössä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008a s. 50). Vuosien 2009 ja 2010 talvien sähkön hintapiikkien aikaan Suomen kysyntäjoustopotentialin arvioidaan olleen noin 400–500 MW tai enemmän. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, s. 41)

4.3 Kysyntäjoustopotentiaali teollisuuden eri aloilla

VTT:n vuonna 2005 tekemässä selvityksessä kartoitettiin teollisuuden sähkön kysyntäjoustopotentialia teollisuuden eri toimialoilla. Kysyntäjoustopotentialin selvittämiseksi osallistuivat toimialan suurimmat yritykset, minkä perusteella kysyntäjoustopotentiaali laajennettiin kattamaan koko toimiala. Merkittävä kartoituksessa selvitetty kysyntäjoustopotentiaali koostuu Suomen suurimpien teollisuuden alojen (massa- ja paperiteollisuus, metallienjalostusteollisuus ja peruskemikaaleja valmistava teollisuus) kapasiteetista. VTT:n selvityksessä ei löydetty muilta teollisuuden aloilta merkittävää potentiaalia kysyntäjoustopotentialiin. Muilla teollisuuden aloilla on kuitenkin kysyntäjoustopotentiaalia, mutta joustopotentialit ovat usein pienempiä eli alle yhden megawatin suuruusluokkaa. (VTT 2005)

Massa- ja paperiteollisuuden kysyntäjoustopotentiaaliksi arvioitiin noin 790 MW, joka koostuu pääasiassa hiertämöistä ja hiomoista. Näissä prosesseissa kysyntäjoustopotentiali on mahdollista muutamien tuntien ajaksi, koska joustopotentialin aikana voidaan hyödyntää välivarastokapasiteettia. Metallienjalostusteollisuuden kysyntäjoustopotentiaaliksi arvioitiin noin 330 MW, josta noin 260 MW on mahdollista tarjota sähkömarkkinoille. Potentiaali koostuu pääasiassa valokaariuuneista ja elektrolyysiprosesseista. Peruskemikaaleja valmistavan teollisuuden kysyntäjoustopotentiaaliksi arvioitiin noin 160 MW, joka koostuu pääasiassa elektrolyysiprosessien kapasiteetista. Elektrolyysiprosessien joustopotentialia voidaan tarjota sähkömarkkinoille jopa alle kahden tunnin varoitusajalla. (VTT 2005)

4.4 Yritysten sähkönhankinnan vaikutukset kysyntäjoustopotentialiin

Yritysten sähkönhankinnan toteutus vaikuttaa huomattavasti yritysten kysyntäjoustopotentialiin. Tilanteessa, jossa yritys ei ole suojannut sähkönhankintaa, kysyntäjoustopotentialin motiivina on säästää sähkön hankintakustannuksissa hintapiikkien aikaan tai

osallistua Fingridin reservimarkkinoille. Kysyntäjouaston toteuttaminen niin, että tuotantoa ei menetetä, vaatii mahdollisuuden siirtää tuotanto toiseen ajankohtaan. (ÅF-Consult 2012, s. 49)

Vastaavasti tilanteessa, jossa yritys on suojannut sähkönhankintansa johdannaissopimuksella, kysyntäjouaston toteuttamisen motiivina on myydä sähköä takaisin markkinoille hintapiikkien aikaan. (ÅF-Consult 2012, s. 49) Tämän tyyppisten kauppojen toteuttaminen on haastavaa ja vaatii vankkaa sähkömarkkinatuntemusta, minkä takia useimmat yritykset ovat ulkoistaneet tämän toiminnan palveluntarjoajille. Yritykset, jotka ovat suojanneet sähkönhankinnan kiinteähintaisella sopimuksella voivat toteuttaa kysyntäjoustoaa säätösähkömarkkinoilla ja Fingridin reservimarkkinoilla.

Käytännössä suurin osa yrityksistä suojaa ainakin osan sähkönhankinnasta riskien välttämiseksi. Suurteollisuusyritykset suojaavat aikaisempien selvitysten mukaan valtaosan sähkönhankinnasta. VTT:n selvityksen mukaan jopa 95–98 % selvitykseen osallistuneiden yritysten hankkimasta sähköstä on hintasuojauksen piirissä. (VTT 2005 s. 20)

Kysyntäjouaston tekeminen vaatii sopimuksen jollekin kysyntäjoustomarkkinalle tai sopimuksen Fingridin kanssa, jos toimija osallistuu reservimarkkinoille. Nord Pool Spot:ssa tehtävään kaupankäyntiin liittyy maksuja, joka rajoittaa pienempien teollisuusyritysten toimintaa Nord Pool:n sähkömarkkinoilla. (ÅF-Consult 2012, s. 47) Pienemmät toimijat voivat kuitenkin hankkia sähköä näiltä markkinoilta palveluntarjoajien tai sähkönmyyjien kautta.

4.5 Palveluntarjoajat ja kysyntäjoustokuormien kokoojat (aggregoijat)

Kysyntäjouaston toteuttaminen ei ole nykytilanteessa mahdollista kaikille yrityksille, koska yritykset eivät pysty tarjoamaan markkinoille riittävän isoa joustokuormaa. Nykyään sähkömarkkinoilla on useita palveluntarjoajia, jotka tarjoavat mittaus-, taseselvitys-, raportointi-, laskutus- ja asiantuntija-palveluja. Suuremman kysyntäjoustokapasiteetin aktivoimiseksi Suomessa on muodostumassa uusi toimijatyyppe (aggregaattori), joka keräisi useita pienempiä kysyntäjoustokuormia ja tarjoaisi näistä muodostuneen suuremman kokonaisuuden kysyntäjoustomarkkinoille. Aggregaattori-mallin toteuttaminen on teknisesti mahdollista. Toteuttaminen on kuitenkin haastavaa käytännössä,

koska varsinainen kysyntäjousto ja kysyntäjoustopalvelun tarjoaminen markkinoille erotetaan kahdelle eri toimijalle. Toteutus vaatii hyvin toimivaa tiedonvaihtoa toimijoiden välillä sekä liiketoimintamallin suunnittelua, joka pystyy huomiomaan kysyntäjoustopalvelun ilman ongelmia. Sähkötaseen hallinta tuottaa ongelmia palveluntarjoajille aggregaattorimallissa, koska kysyntäjoustopalvelua on haastavaa huomioida sähkönhankinnassa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, s. 51)

Energiakolmio Oy on aloittanut vuoden 2014 aikana aggregaattorimallin toteuttamisen Suomen sähkömarkkinoilla. Energiakolmio Oy on sähkömarkkinoilla toimiva palveluntarjoaja, joka tarjoaa yrityksille ja organisaatioille energian hankintaan, myyntiin ja käytön tehostamiseen liittyviä palveluita. Energiakolmio Oy toimii lisäksi tasevastaavana Suomen sähkömarkkinoilla. Kappaleessa 7.2 on kuvattu tarkemmin Energiakolmio Oy:n toimintaa aggregaattoripalveluiden tarjoajana kysyntäjoustopalvelun pilottiprojektissa. (Energiakolmio 2014a, Energiakolmio 2014b)

4.6 Kansainvälinen tilanne teollisuuden kysyntäjoustopalvelussa

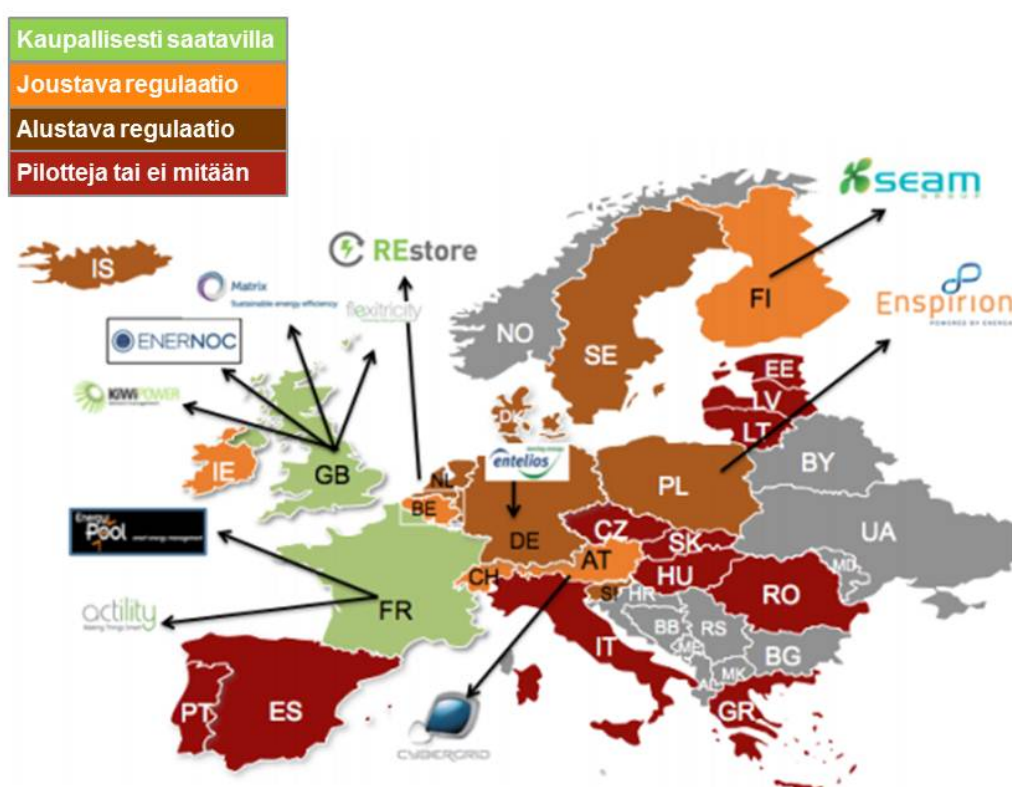
Kansainvälisen älykkäisiin sähköverkkoihin ja energiantuotantoratkaisuihin keskittyvän teollisuusyhtymän SEDC:n (Smart Energy Demand Coalition) uusimman selvityksen mukaan Yhdysvallat on maailman johtava valtio kysyntäjoustopalvelujen saralla. Yhdysvalloissa kysyntäjoustopalvelujen seurauksena tehtyjen säästöjen arvo oli jopa 2,2 miljardia dollaria vuonna 2013. Suurimmat säästöt liittyvät kysyntäjoustopalvelun ansiosta vältettyihin sähköverkkoinvestointeihin ja uusiin voimalaitosinvestointeihin. (Smart Energy Demand Coalition 2014)

Yhdysvalloissa on käytössä jopa 29,5 GW kysyntäjoustopalveluun, jota voidaan käyttää sähkömarkkinoiden tehostamiseen ja korvaamaan huippukuormalaitoksia. Kanadan, Australian, Etelä-Korean ja Japanin sähkömarkkinoilla hyödynnetään myös huomattavia määriä kysyntäjoustopalveluun markkinoiden tehostamiseen. Euroopan kysyntäjoustopalvelu kehitys laahaa selvästi jäljessä Yhdysvaltoja. (Smart Energy Demand Coalition 2014)

Euroopan komission selvityksen mukaan kysyntäjoustopalvelu olisi helppo ja kustannustehokas väline sähkökustannusten, sähköverkkojen kuormituksen sekä hiilidioksidipäästöjen alentamiseen. Suurin ongelma kysyntäjoustopalvelun toteutuksessa Euroopassa onkin jäykkä sähkömarkkinaregulaatio, joka ei ole mukautunut vielä uuteen kysyntäjoustopalveluun ja ha-

jautettua energiantuotantoa sisältävään sähköjärjestelmään useissa maissa. (Euroopan komissio 2013)

Kuvassa 19 on esitetty kysyntäjoustopalvelujen käyttöönoton tilanne Euroopassa ja kysyntäjoustopalveluja tarjoavat kaupalliset toimijat maakohtaisesti vuonna 2012. Itä- ja Etelä-Euroopan maiden regulaatio ja kehitys laahaa jäljessä muuta Eurooppaa. Vuoden 2012 jälkeen Suomessa, Irlannissa ja Sveitsissä on alettu toteuttaa kysyntäjoustopalveluita kaupallisten palveluntarjoajien välityksellä. Myös muissa Pohjoismaissa teollisuuden osallistuminen kysyntäjoustopalveluihin on kasvanut viime vuosina.



Kuva 19 Kysyntäjoustopalvelujen edistyminen ja kaupalliset markkinatoimijat maakohtaisesti Euroopassa vuonna 2012. (Smart Energy Demand Coalition 2013)

Suurin kysyntäjoustopalveluja tarjoava toimija maailmanlaajuisesti on yhdysvaltalainen EnerNOC. EnerNOC:n asiakkaisiin kuuluu energiayhtiöitä, verkkoyhtiöitä sekä useita kaupallisia ja teollisia toimijoita. EnerNOC hallinnoi asiakkaidensa välityksellä lähes 10 GW:n kysyntäjoustopalvelukapasiteettia maailmanlaajuisesti (EnerNOC 2014a). Kysyntäjoustopalvelut EnerNOC on toteuttanut useissa teollisuuden kohteissa kuten metallinjalostusteollisuuden uuneissa, elintarviketeollisuuden pakastamoissa ja kaivannaisteollisuuden jauhinmyllyissä ympäri maailmaa. (EnerNOC 2014b, EnerNOC 2014c)

Länsi-Australiassa toimiva metallinjalostus- ja kaivannaisteollisuuden yritys on käytännön läheinen teollisuuskohde, jossa EnerNOC toteuttaa kysyntäjoustoa. Kyseisellä yrityksellä on käytössä kolme 2,5 MW:n valokaariuunia, joita käytetään metallinjalostukseen. Yritys pystyy ansaitsemaan 500 000 dollaria vuodessa tarjoamalla valokaariuunien kysyntäjoustokuormaa sähkömarkkinoille. (EnerNOC 2014d)

Toinen esimerkki Eurooppalaisen teollisuuden osallistumisesta on Ranskassa toimiva kysyntäjoustopalveluntarjoaja Energypool, joka toteuttaa kysyntäjoustopalveluita useille teollisuusyrityksille. Energypool on pystynyt muun muassa toteuttamaan ranskalaiselle metsäteollisuusyritykselle, jonka sähkönkulutuskapasiteetti on 25 MW, noin 250 000 euron vuosittaiset lisätulot kysyntäjoustopalveluilla. (Energy Pool 2013)

5 Tutkimusmenetelmät

Tässä diplomityössä on käytetty useita tutkimusmenetelmiä teollisuuden sähkönkulutuskohdeiden kysyntäjoustopotentiaalin selvittämiseksi. Mahdollisimman kattavan analyysin muodostamiseksi, tässä työssä haastateltiin useita suomalaisia teollisuusyrityksiä sekä tehtiin tarkempi case-tutkimus valikoidulle kasvihuonepuutarhalle. Lisäksi työn analyysissä on hyödynnetty julkisesti saatavilla olevaa markkinadataa.

5.1 Yrityshaastattelut

Tässä työssä esitetyt yrityshaastattelut perustuvat Fingrid Oyj:n ja Pöyry Management Consulting Oy:n yhteisen hankkeen ensimmäiseen vaiheeseen, jonka tavoitteena oli kartoittaa kysyntäjoustopotentiaalia eri teollisuuden aloilla ja löytää sekä aktivoida uusia kohteita kysyntäjoustopotentiaalin toteutukseen.

Tässä diplomityössä haastateltiin yhteensä 12 eri alan yritystä ja yhtä kuntayhtymää. Kolme yritystä ja yksi vedenkäsittelylaitos kieltäytyivät haastattelusta. Yrityshaastatteluiden tarkoituksena oli löytää uutta kysyntäjoustopotentiaalia Suomen sähkömarkkinoilta. Yritykset valikoitiin haastatteluihin tämän perusteella, minkä lisäksi valinnassa huomioitiin kysyntäjoustopotentiaalin monistettavuuden mahdollisuudet muihin samantyyppisiin sähkönkulutuskohteisiin.

Haastatteluissa selvitettiin yritysten nykyinen osallistuminen kysyntäjoustopotentiaalin eri markkinapaikoille, asenteet kysyntäjoustopotentiaalia kohtaan, sähkönhankinnan nykyinen toteutus, sähkön- ja energiakulutuksen tärkeys ja seurantamenetelmät, kysyntäjoustopotentiaaliin soveltuvat sähkönkulutuskohdet, tuotannon suunnittelun kriteerit, kysyntäjoustopotentiaaliin osallistumisen esteet ja halukkuus osallistua hankkeen toiseen vaiheeseen. Haastattelukysymykset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1. Yrityshaastattelun tulokset on esitetty kokonaisuudessaan luvussa 8.

Kaikkien haastateltujen yritysten sähkönkulutus, pois lukien kasvihuonepuutarhan ja rakennustuoteollisuusyrityksen, oli tasolla 100–1200 GWh/vuosi.

5.2 Case-tutkimus

Tässä työssä esitetty case-tutkimus perustuu Fingrid Oyj:n ja Pöyry Management Consulting Oy:n yhteisen hankkeen toiseen vaiheeseen. Hankkeen toisessa vaiheessa valittiin ensimmäisen vaiheen tuloksiin perustuen muutama yritys, joille tehtiin tarkemmat yrityskohtaiset analyysit kysyntäjoustopotentiaalin selvittämiseksi. Toisessa vaiheessa yrityksille selvitettiin kysyntäjoustopotentiaali eri kysyntäjoustokohteissa, soveltuvat kysyntäjoustopotentiaalin markkinat, kysyntäjoustopotentiaalin saatavat korvaukset ja kysyntäjoustopotentiaalin toteuttamiseen vaadittavat toimet sekä kustannukset. Tässä diplomityössä tehty case-tutkimus on tehty kasvihuonepuutarhalle. Tein case-tutkimuksen yhteydessä vierailun kasvihuonepuutarhaan, jonka aikana haastattelin kasvihuoneen henkilökuntaa ja kartoitin kaikki kysyntäjoustopotentiaalin vaikuttavat tekijät. Case-tutkimuksen tulokset on esitetty kokonaisuudessaan luvussa 9.

5.3 Markkinadataan perustuva analyysi

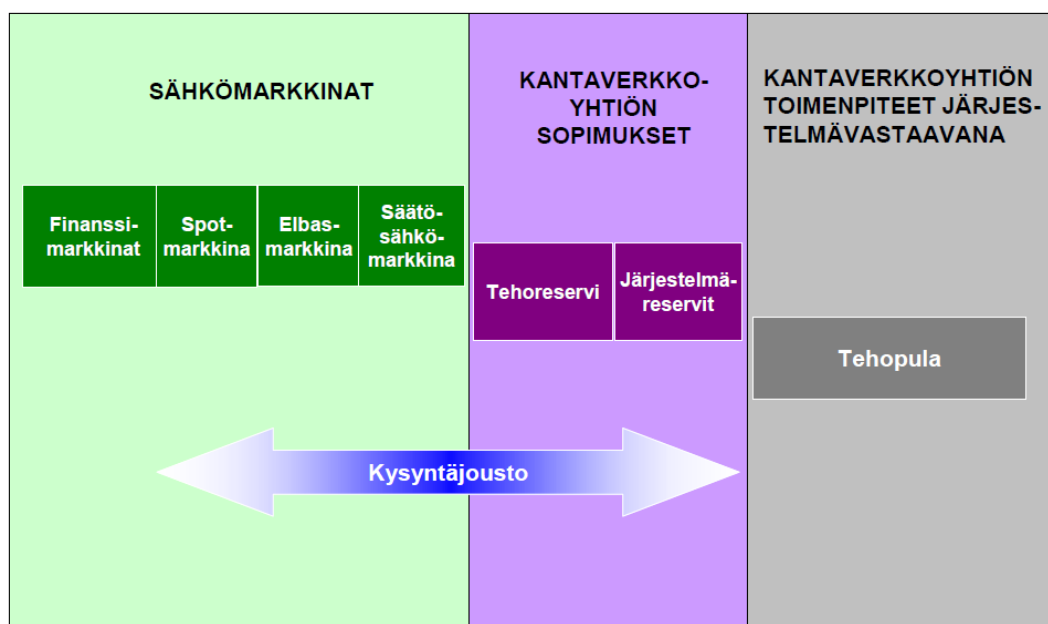
Tässä diplomityössä on käytetty julkisesti saatavilla olevaa markkinadataa, jonka avulla on tutkittu kysyntäjoustopotentiaalin soveltuvuutta eri markkinapaikoille. Markkinadataa on käytetty Elspot-, Elbas- ja säätösähkömarkkinoita koskevassa analyysissä sekä taajuusohjattujen reservien tuntimarkkinoiden tarkastelussa. Markkinadatan hyödyntäminen on oleellista kysyntäjoustopotentiaalin saatavien korvausten ja kannattavuuden selvittämisessä.

6 Kysyntäjoustop markkinapaikat

Tässä luvussa esitetään kysyntäjoustop markkinapaikat Suomessa, analysoidaan markkinapaikkoja yleisesti saatavilla olevan datan avulla ja tarkastellaan kysyntäjoustop vaikutusta sähkömarkkinoihin.

6.1 Kysyntäjoustop markkinapaikkojen ominaisuudet

Suomessa on mahdollista osallistua kysyntäjoustopon tällä hetkellä kahdeksalla eri markkinapaikalla. Kysyntäjoustopon voi osallistua Nord Pool Spot:n Elspot- ja Elbas-markkinoiden kautta tai Fingridin ylläpitämien säätösähkömarkkinoiden kautta. Lisäksi kysyntäjoustopon voi osallistua tarjoamalla kysyntäjoustopokuormaa Fingridin reservien käyttöön. Kuvassa 20 on esitetty mihin markkinoihin ja reserveihin kysyntäjoustopolla on vaikuttaa Suomen sähkömarkkinoilla. (Fingrid Oyj 2014m)



Kuva 20 Kysyntäjoustopon vaikutus Suomen sähkömarkkinoihin ja kantaverkkoyhtiön reserveihin. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008a, s. 15)

Kysyntäjoustopon markkinapaikat ja markkinapaikkoihin liittyvät ominaisuudet on esitetty taulukossa 2. Kysyntäjoustopon markkinapaikkojen dynamiikat eroavat toisistaan huomattavasti. Markkinapaikoilla on erilaiset vaatimukset tarjottavan kysyntäjoustopokuorman suhteen. Oleellimmat vaatimukset koskevat tarjottavan kysyntäjoustopokuorman minimisäättöä ja aktivoitumisaikaa. Lisäksi kysyntäjoustoposäädön vuosittaisten aktivointien määrät vaihtelevat markkinapaikasta riippuen. Esimerkiksi Nord Pool Spot:n Elspot-

markkinoilla kysyntäjoustoa suunnitellaan seuraavalle päivälle, kun taas taajuusohjatussa häiriöreservissä säädettävän kuorman on aktivoiduttava täyteen tehoon viidessä tai 30 sekunnissa kantaverkossa tapahtuvasta taajuudenmuutoksesta.

Markkinapaikkojen korvaustasot ja korvausten laskentamenetelmät eroavat myös toisistaan. Markkinapaikoille osallistuminen edellyttää lisäksi kysyntäjoustokohteilta tiettyjä teknisiä ominaisuuksia sekä sopimuksia kantaverkkoyhtiön ja tasevastaavan kanssa.

Tehotasapainon ylläpitämisen kannalta kysyntäjoustokohteiden säätöteho ei ole ainut oleellinen tekijä joustokohteille. Tällä hetkellä nopeaan säätöön pystyvää kapasiteettia on Suomessa vain rajoitetusti. Tämän takia myös pienemmät kysyntäjoustokohteet, jotka pystyvät nopeaan säätöön lyhyellä varoitusajalla, ovat erittäin arvokkaita kantaverkkoyhtiölle. Fingrid on kiinnostunut kasvattamaan taajuusohjattujen reservien kapasiteettia ja löytämään kysyntäjoustokuormaa etenkin taajuusohjattuun käyttöreserviin.

Taulukko 2 Kysyntäjouston markkinapaikat Suomessa. (Muunneltu: Fingrid Oyj 2014m)

Markkinapaikka	Sopimustyyppi	Minimisäätö	Aktivoitumisvaade	Aktivoituu
Taajuusohjattu käyttöreservi	<ul style="list-style-type: none"> Vuosimarkkinat Tuntimarkkinat 	0,1 MW	3 min, kun taajuus poikkeaa 49,95-50,05 Hz:stä	Useita kertoja tunnissa molempiin suuntiin
Taajuusohjattu häiriöreservi	<ul style="list-style-type: none"> Vuosimarkkinat Tuntimarkkinat 	1 MW	5 s / 50%, 30 s / 100%, kun f alle 49,7 Hz ja 5 s kun f alle 49,5 Hz	Muutamia kertoja vuodessa
Taajuusohjattu häiriöreservi (on-off-malli)	<ul style="list-style-type: none"> Pitkäaikainen sopimus 	10 MW	Välittömästi, kun taajuus alle 49,5 Hz	Noin kerran vuodessa
Nopea häiriöreservi	<ul style="list-style-type: none"> Pitkäaikainen sopimus 	10 MW	15 min	Noin kerran vuodessa
Tehoreservi (EMV)	<ul style="list-style-type: none"> Pitkäaikainen sopimus 	10 MW	15 min kulutukselle 12 h tuotannolle	Harvoin (1-2 kertaa talvikaudella)
Säätösähkömarkkinat	<ul style="list-style-type: none"> Tuntimarkkinat 	10 MW	15 min	Tarjousten mukaan, useita kertoja vuorokaudessa
Elspot (Nord pool Spot)	<ul style="list-style-type: none"> Tuntimarkkinat 	0,1 MW	12 h	-
Elbas (Nord Pool Spot)	<ul style="list-style-type: none"> Tuntimarkkinat 	0,1 MW	1 h	-

6.1.1 Kysyntäjouston määrä eri markkinapaikoilla

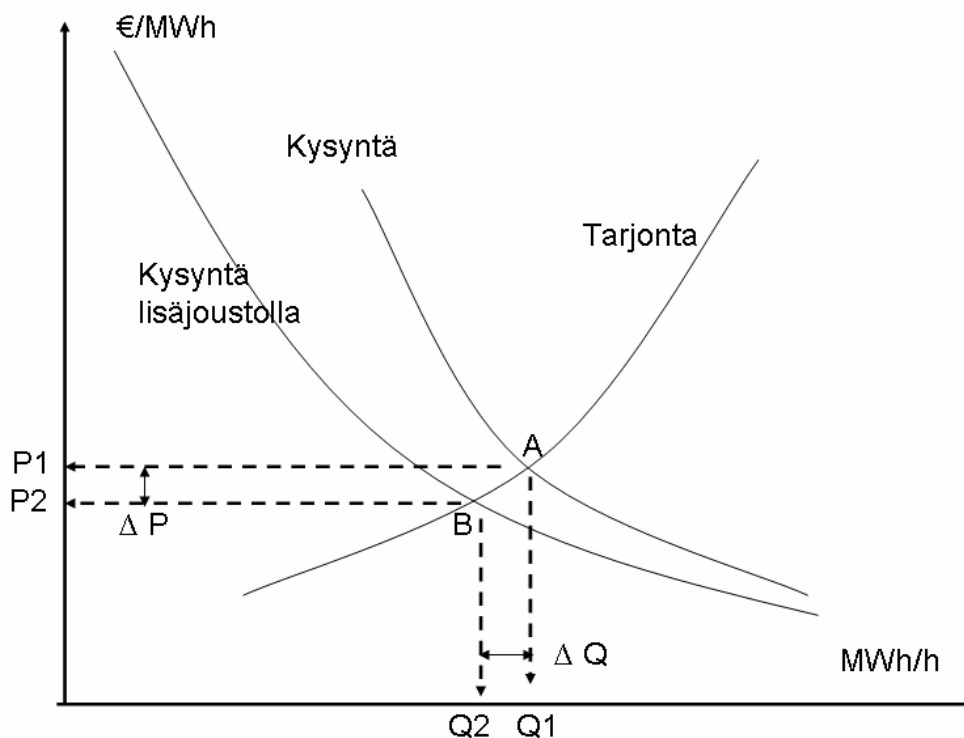
Taulukossa 3 on esitetty kysyntäjouston määrä eri markkinapaikoilla vuonna 2012. Kysyntäjouston määrä Elspot- ja säätösähkömarkkinoilla on arvioitu hintajoustavien tarjousten määrän perusteella. Suurteollisuuden sähkönkulutuskohteet ovat osallistuneet jo pitkään kysyntäjoustoon Fingridin reservien kautta.

Taulukko 3 Markkinoilla olevan kysyntäjouaston määrä Suomessa vuonna 2012. (Fingrid Oyj 2014n)

Kysyntäjousto Suomessa 2012	
Elspot-markkinat	200 - 400 MW
Säätösähkömarkkinat	100 - 300 MW
Taajuusohjattu häiriöreservi	40 MW
Nopea häiriöreservi	405 MW
Tehoreservi (1.12.2013 alkaen)	40 MW

6.2 Kysyntäjouaston vaikutukset sähkömarkkinoihin

Kysyntäjoustolla voidaan vaikuttaa sähkön markkinahintaan sekä sähköjärjestelmän toimintaan. Kysyntäjouaston vaikutusta sähkön Elspot-markkinahintaan on havainnollistettu kuvassa 21. Piste A kuvaa tilannetta, jossa sähkön kysyntä- ja tarjontakäyrät kohtaavat ilman kysyntäjoustoja. Pisteessä A sähkön hinta kyseiselle tunnille on P1 sähkön tuotannolla Q1. Kun kysyntäjousto kasvaa sähkömarkkinoilla, sähkön kysyntä laskee, minkä seurauksena kysyntä- ja tarjontakäyrät kohtaavat pisteessä B. Sähkön markkinahinta laskee kysyntäjouaston seurauksena arvosta P1 arvoon P2 ja sähköntuotanto puolestaan arvosta Q1 arvoon Q2. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, s. 11)



Kuva 21 Sähkön hinnanmuodostus sähkömarkkinoilla (Elspot-markkinat) ja kysyntäjouaston vaikutus hinnanmuodostukseen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, s. 11)

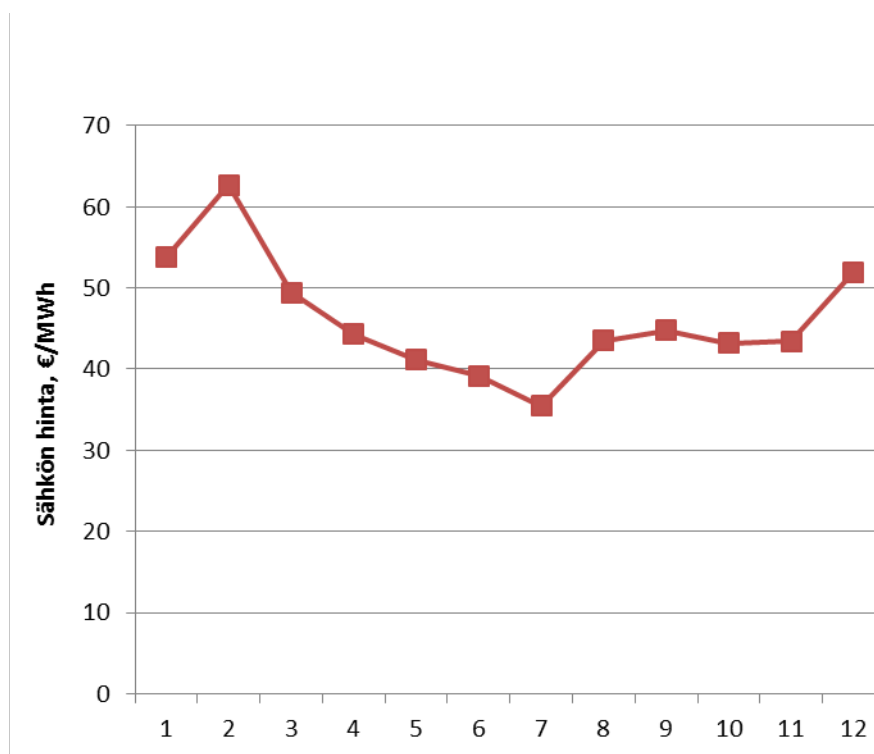
Kysyntäjoustolla voidaan siis vaikuttaa teoriassa sähkön Elspot-markkinahintaan merkittävästi. Kysyntäjoustolla voidaan alentaa yksittäisiä tuntihintoja esimerkiksi tilanteissa, jossa Suomen tarjousalue on eriytymässä omaksi hinta-alueeksi siirtorajoitusten takia joinakin vuorokauden tunteina (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, s. 15). Käytännössä kysyntäjouston osallistuminen Elspot-markkinoille on kuitenkin haastavaa, koska Elspot-markkinalla sähkökauppaa käydään päivää ennen fyysistä sähköntoimitusta. Sähkönkulutusta on vaikeaa arvioida etukäteen, minkä lisäksi Elspot-markkinan hintapiikkejä on myös haastavaa ennustaa.

Kysyntäjoustoa on helpompaa toteuttaa Elbas- ja säätösähkömarkkinoilla, koska näillä markkinoilla tehtävä sähkökauppa on lähempänä fyysistä sähköntoimitusta. Näillä markkinoilla tapahtuva kysyntäjousto ei kuitenkaan laske Pohjoismaiden ensisijainen sähkökaupan Elspot-markkinan sähkönhintaa. Lisäksi kysyntäjoustolla on erittäin tärkeä rooli sähkömarkkinoilla osana kantaverkkoyhtiön reservejä, kun sähkön kysyntä kasvaa tarjontaa enemmän ja siirrytään lähemmäksi sähkön fyysistä toimitusta.

6.3 Elspot-markkinat

Elspot-markkinaa käytetään kysyntäjouston ensisijaisena markkinapaikkana Suomessa. Toiminta Elspot-markkinoilla on kuvattu kappaleessa 2.3.2. Elspot-markkina määrittää sähkönkulutukselle pääsuuntaviivat ja ohjaa sähkönkäyttöä vuorokauden halvemmille tunneille. Fingrid arvioi Suomen Elspot-markkinoiden kysyntäjoustovolyymin olevan noin 200–400 MW:n välillä vuonna 2012 (Fingrid Oyj 2014n).

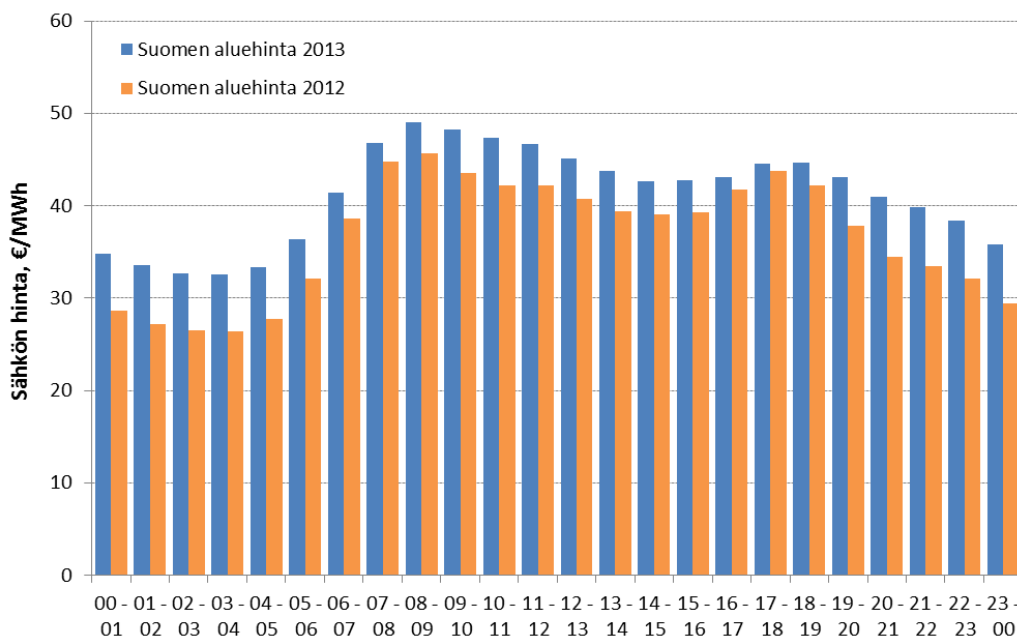
Hintapiikit Elspot-markkinalla kannustavat sähköntuottajia investoimaan huippukapasiteettiin. Useat tekijät kuten sähköntuotantokapasiteetin rakenne, Pohjoismainen vesivarastotilanne, polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnat ja sääolosuhteet vaikuttavat Elspot-markkinan kuukausihintaan.



Kuva 22 Suomen aluehinnan kuukausikeskiarvo vuosina 2010–2013. (Datan lähde: Nord Pool Spot 2014b)

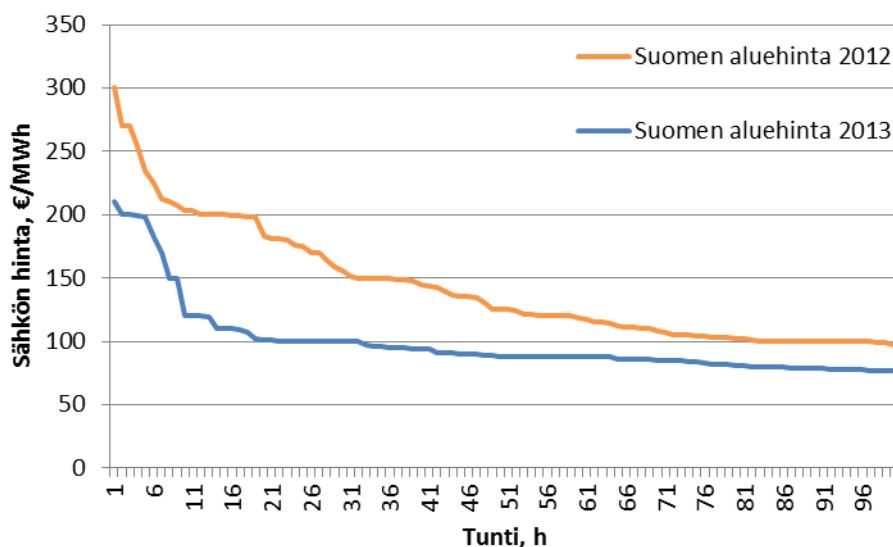
Kuvassa 22 on esitetty Elspot-markkinoilla toteutuneet Suomen aluehinnan kuukausikeskiarvot vuosina 2010–2013. Näiden vuosien Suomen aluehinnan keskiarvo oli 46,0 €/MWh. Hintataso oli kalleimmillaan vuonna 2010, noin 56,9 €/MWh, ja halvimmillaan vuonna 2012 noin 36,7 €/MWh. Kuvasta nähdään, että sähkön hintataso on keskimäärin korkeammalla talvikuukausina ja matalampana vuoden kesäaikaan. Sähkönkysyntä nousee talviaikaan korkeamman lämmitys- ja valaistustarpeen myötä, mikä nostaa sähkön hintatasoa korkeammalle. Ero vuosien 2010-2013 keskimääräisesti kalleimman kuukauden, helmikuun, ja keskimääräisesti halvimman kuukauden, heinäkuun, keskiarvohinnan välillä oli 27,2 €/MWh. Helmikuun keskimääräinen hinta oli noin 36 % suurempi kuin näiden vuosien keskiarvohinta. (Nord Pool Spot 2014b)

Elspot-markkinan hintatasossa on huomattavia vuosikohtaisia eroja. Talvikuukausien hinnat ovat kuitenkin lähes poikkeuksetta korkeammalla tasolla kuin kesäkuukausien. Markkinadata perusteella kysyntäjouston mahdollisuudet kasvavat talviaikaan, sähkön markkinahinnan noustessa.



Kuva 23 Elspot-markkinan keskimääräinen päivänsisäinen hintavaihtelevuus. (Datan lähde: Nord Pool Spot 2014b)

Kuvassa 23 on esitetty Elspot-markkinan vuorokaudensisäiset tuntiakohtaiset keskihinnat Suomen alueella vuosina 2012 ja 2013. Vuorokaudensisäiset hintapiikit ajoittuvat aamutunneille (kello 7.00 - 9.00) ja halvimmat tunnit taas yötunneille (kello 23.00 – 5.00). Aamun hintapiikki johtuu kysynnän lisääntymisestä ja korostuu kun tarkastellaan vain arkipäiviä. Yöllä sähkönkulutus on luonnollisesti alemmalla tasolla, mikä painaa sähkön hintatason matalammalle. Vuosina 2012 ja 2013 sähkö oli keskimäärin 17,9 €/MWh kalliimpaa vuorokauden kalleimpina tunteina, kello 8.00 - 9.00, kuin vuorokauden halvimpina tunteina, kello 3.00 - 4.00. (Nord Pool Spot 2014b)



Kuva 24 Pysyvyyskäyrät Elspot-markkinan Suomen aluehinnoista, vuoden 100 kalleinta tuntia. (Datan lähde: Nord Pool Spot 2014b)

Kuvassa 24 on esitetty Elspot-markkinan Suomen aluehinnan pysyvyyskäyrät vuosille 2012 ja 2013. Vertailuun on otettu mukaan 100 kalleinta tuntia kunakin vuonna. Vuonna 2013, 31 tuntia ja vuonna 2012, 92 tuntia ylittivät 100 €/MWh markkinahinnan. Suurin osa tarkasteltujen vuosien hintapiikeistä ajoittui talvikuukausille. (Nord Pool Spot 2014b)

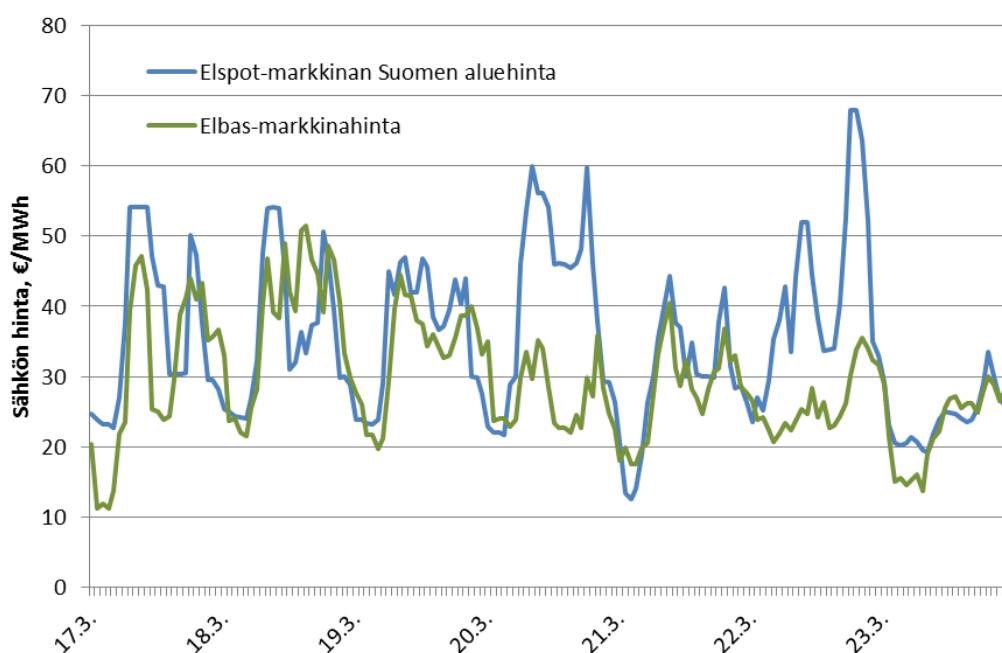
Tässä työssä tehty Elspot-markkinoiden hintadataan perustuva analyysi osoittaa, että kysyntäjoustoa on kannattavaa tehdä Elspot-markkinalla. Kustannussäästöjä voidaan saada vuorokauden sisäisen sähkönkäytön optimoimisella ja suurimpien hintapiikkien välttämällä. Vuorokauden sisäisen sähkönkäytön suunnittelussa kannattavinta on välttää sähkönkäyttöä aamun kalliiden tuntien aikaan ja painottaa sähkönkäyttöä niin paljon kuin mahdollista yötunneille. Suurimmat säästöt Elspot-markkinoilla tehtävässä kysyntäjoustossa saadaan välttämällä talvikuukausien korkeita hintapiikkejä. Kysyntäjousto Elspot-markkinoilla on kuitenkin rajoitettua, koska markkinan hintapiikkejä on haastavaa ennustaa seuraavalle vuorokaudelle.

6.4 Elbas-markkinat

Sähkönhankinnassa Elbas-markkinaa voidaan hyödyntää Elspot-markkinalta hankitun sähkön tasaamiseen, tilanteissa joissa sähkönkulutusennusteet eroavat todellisesta sähkönkulutuksesta. Toiminta Elbas-markkinoilla on kuvattu kappaleessa 2.3.3. Elbas-markkinoilla sähkön hankinta helpottuu huomattavasti, koska hankinta tapahtuu lähellä

sähkönkulutuksen ajankohtaa. Elbas-markkinoilla tehtävällä kaupankäynnillä voidaan saavuttaa kustannushyötyjä sähkönhankinnassa tai toteuttamalla kysyntäjoustoa ja myymällä hankittu sähkö takaisin Elbas-markkinoille.

Suomen Elbas-markkinoiden sähkökaupan volyymit ovat kuitenkin merkittävästi pienempiä kuin Elspot-markkinoiden. Vuonna 2013 Elbas-markkinoilla ostetun sähkön määrä oli vain noin yhden prosentin (Elbas: 0,62 TWh ja Elspot: 50,7 TWh) Suomen Elspot-markkinoiden volyymistä. Myydyn sähkön määrä Elbas-markkinoilla oli hieman suurempi kuin ostetun sähkö, mutta silti vain noin kaksi prosenttia (Elbas: 0,77 TWh ja Elspot: 38,72 TWh) Suomen Elspot-markkinoiden volyymistä. Elbas-markkinan alhaisen volyymin takia sähkönhankintaa on riskialtista suunnitella liian suurella painotuksella Elbas-markkinalle. (Nord Pool Spot 2014b, Nord Pool Spot 2014c)



Kuva 25 Elbas-markkinahinta verrattuna Elspot-markkinan Suomen aluehintaan ajalla 17-23.3.2014. (Datan lähde: Nord Pool Spot 2014b, Nord Pool Spot 2014d)

Kuvassa 25 on esitetty Elbas-markkinahinta ja Elspot-markkinan Suomen aluehinta satunnaisena aikana, 17–23.3.2014. Elbas-markkinahinta seuraa suurimman osan ajasta Elspot-markkinan hintaa. Hintatasossa esiintyy kuitenkin poikkeamia kun tuotannossa tai kulutuksessa tapahtuu nopeita muutoksia. Esimerkiksi 20.3.2014 koko vuorokauden keskiarvohinta Elbas-markkinoilla oli 27,1 €/MWh ja Elspot-markkinan Suomen alue-

hinta vastaavasti 40,8 €/MWh. Elspot-markkinan Suomen aluehinta oli siis noin 50 % kalliimpi tämän ajanjakson aikana. (Nord Pool Spot 2014b, Nord Pool Spot 2014d)

Tässä työssä tehty Elbas-markkinoiden hintadataan perustuva analyysi osoittaa, että kysyntäjoustoa on kannattavaa tehdä Elbas-markkinalla. Kysyntäjoustolla voidaan säästää kustannushyötyjä, kun johdannaismarkkinoilta tai Elspot-markkinoilta ostettua sähköä myydään korkeammalla hinnalla Elbas-markkinoille. Elbas-markkinahinnan ollessa korkealla tasolla voidaan sähkönkulutusta vähentää ja myydä toiselta markkinalta ostettu sähkö kalliimmalla hinnalla Elbas-markkinoille. Elspot-markkinahinta seuraa usein Elbas-markkinahintaa, koska näillä markkinoilla kaupankäynnin ajankohta on suhteellisen lähellä toisiaan. Tilanteissa, joissa Elspot-markkinahinnan muodostumisen jälkeen, tuotannossa tai kulutuksessa tapahtuu isoja muutoksia, Elbas-markkinahinta saattaa kohota huomattavasti korkeammalle tasolle kuin Elspot-markkinahinta. Tämän tyyppisiä tilanteita ei ole kuitenkaan kovin usein, minkä takia johdannaismarkkinoilta ostetun sähkön hinta poikkeaa keskimäärin enemmän Elbas-markkinahinnasta kuin Elspot-markkinoilta ostetun sähkön hinta.

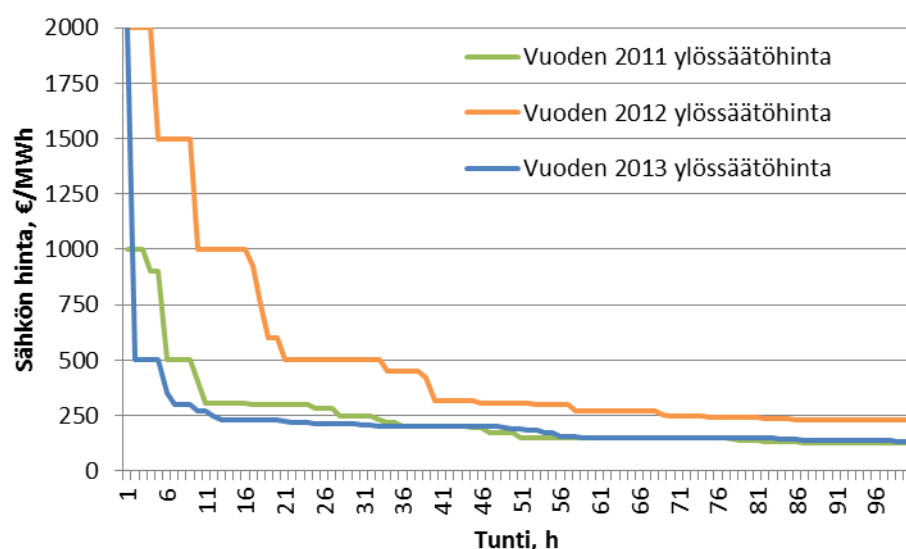
6.5 Säättö-sähkömarkkinat

Säättö-sähkömarkkina on erittäin tärkeä kysyntäjoustop markkinapaikka, koska kaupankäynnin ajankohta säättö-sähkömarkkinoilla on kaikista sähkökaupan markkinapaikoista lähimpänä sähkönkäytön ajankohtaa. Toiminta säättö-sähkömarkkinoilla on kuvattu kapaleessa 2.1.1. Koko säättö-sähkömarkkinan kaupankäyntivolyymi oli vuodelle 2013 noin 279 GWh. Tässä työssä tarkastellaan ainoastaan ylössäättömarkkinoita, koska kysyntäjoustoa ei voida tarjota alassäättömarkkinoille. (Fingrid Oyj 2014o)

Säättö-sähkömarkkinoiden ylössäättötarjousten hintataso on aina korkeammalla tasolla kuin Elspot-markkinan Suomen aluehinta. Vuonna 2012 Elspot-markkinan Suomen keskimääräinen aluehinta oli 36,8 €/MWh ja ylössäättötarjousten keskimääräinen hinta 46,3 €/MWh. Vastaavasti vuonna 2013 Elspot-markkinan Suomen keskimääräinen aluehinta oli 41,2 €/MWh ja ylössäättötarjousten keskimääräinen hinta 45,4 €/MWh.

Ylössäättö-sähkön markkinahinta nousee kun säättö-sähkön kysyntä kasvaa. Yleisesti ylössäädön markkinahinta on kalleimmillaan samaan aikaan Elspot-markkinahinnan kanssa. Jos sähkönkulutusta siirretään pois näiltä tunneilta, kustannushyötyjä voidaan saada ylössäättömarkkinan korvauksista sekä käyttämällä halvempaa Elspot-markkinasähköä.

Säätösähkömarkkinoilla säätötarjouksen hinnan voi asettaa itse, mikä vaikuttaa siihen kuinka usein tarjous aktivoidaan. Tarjous sisältää hinnan (€) ja määrän (MW), ja se asetetaan kullekin tunnille erikseen. Jos tarjoushinta on matalalla tasolla, tarjous aktivoidaan useammin ja vastaavasti harvemmin jos tarjoushinta on korkealla tasolla. Tämän ominaisuuden takia säätösähkömarkkina soveltuu erilaisille sähkönkulutuskohteille. (Säätösähkömarkkinasopimus 2014)



Kuva 26 Säätösähkömarkkinoiden pysyvyyskäyrät ylössäätohinnalle, vuoden 100 kalleinta tuntia. (Datan lähde: Fingrid Oyj 2014p)

Kuvassa 26 on esitetty säätösähkömarkkinoiden ylössäätohinnan pysyvyyskäyrät vuosille 2011–2013. Vertailuun on otettu mukaan kaikkien vuosien 100 kalleinta tuntia. Vuonna 2013, 5 tuntia, vuonna 2012, 33 tuntia ja vuonna 2011, 9 tuntia, ylittivät 500 €/MWh markkinahinnan. Säätösähkömarkkinoiden hintatasot vaihtelevat huomattavasti vuosittain, minkä johdosta markkinoilta saatavat korvaukset vaihtelevat myös vuosittain. Tässä työssä tehdyn analyysin perusteella säätösähkömarkkinoilla tehtävästä kysyntäjoustosta on mahdollisuus saada merkittäviä kustannushyötyjä etenkin kysyntäjoustokohteilla, joiden tekniset ominaisuudet ovat joustavia. Kappaleessa 8.4.1 on tarkemmin tarkennettu säätösähkömarkkinoilta saatavia korvauksia sekä esitetty säätösähkömarkkinoilta saatavat korvaukset case-tutkimuksen kohteelle.

Sähkömarkkinaosapuoli voi osallistua säätösähkömarkkinoille tasevastaavan välityksellä tai suoraan tekemällä Fingridin kanssa erillisen säätösähkömarkkinasopimuksen.

Fingrid perii 1200 euroa vuodessa säätösähkömarkkinasopimuksesta. Tasevastaavat voivat osallistua säätösähkömarkkinoille tasepalvelusopimuksen myötä ilman erillistä sopimusta tai maksuja. Lisäksi tarvitaan sopimus avoimen sähköntoimittajan kanssa, jossa sovitaan tasevastuusta. Asiakas on velvollinen ilmoittamaan säätösähkökaupat tasevastaavalleen ennen säädön alkamista. (Fingrid Oyj 2014c)

Säätösähkömarkkinoille osallistumisen vaatimukset on esitetty taulukossa 2. Tällä hetkellä säätösähkömarkkinoille osallistuvan kapasiteetin minimitehon on oltava 10 MW, mikä rajoittaa useiden kohteiden osallistumista tälle markkinalle. Suomen, Ruotsin, Norjan ja Tanskan kantaverkkoyhtiöt tilasivat vuonna 2013 konsultilta säätösähkömarkkinoita koskevan selvityksen (Pohjoismainen säätösähkömarkkinaselvitys (RPM Review)). Yhtenä selvityksen päätavoitteista oli lisätä markkinatoimijoiden kiinnostusta säätösähkömarkkinoita kohtaan sekä etsiä tapoja lisätä säätösähkömarkkinan volyymia ja osapuolten määrää. Selvityksen tärkeimpänä kehitysehdotuksena on muuttaa säätösähkötarjousten aktivoiminen elektroniseksi, manuaalisen aktivoinnin sijaan. Tämä lisäisi säätösähkömarkkinoiden joustavuutta ja mahdollistaisi useampien tarjousten aktivoinnin. Toinen tärkeimmistä kehitysehdotuksista on säätötarjousten tehorajan alentaminen 5 MW:iin. (Piipponen, J 2013)

6.6 Taajuusohjatut reservit

Tällä hetkellä vain harvat kysyntäjoustokohteet osallistuvat taajuusohjatuille reservimarkkinoille. Perinteisesti taajuusohjattujen reservien kapasiteetti on täytetty voimalaitos- ja siirtoyhteyskapasiteetilla. Taajuusohjattujen reservien tekniset vaatimukset ovat erittäin tiukkoja, minkä takia kulutuskohdeiden osallistuminen näille markkinoille on haastavaa. Kysyntäjoustopon hyödyntäminen taajuusohjatuissa reserveissa on kiinnostavaa Fingridille, koska reservien kapasiteettitarve kasvaa jatkuvasti. Kysyntäjoustokohteiden soveltumista taajuusohjatuille reservimarkkinoille ei ole tutkittu vielä riittävän kattavasti, jotta tiedettäisiin tarkasti minkälaiset joustokohteet soveltuvat näille reservimarkkinoille.

Taajuusohjattuihin reserveihin on mahdollista osallistua vuosimarkkinoiden tai tunti-markkinoiden kautta. Taajuusohjattuihin reserveihin osallistuvat reservitoimittajat saavat korvauksen jokaiselta tunnilta, kun reservi on käyttövalmiudessa. Reservikapasiteetti aktivoituu automaattisesti taajuuden perusteella reservikohtaisten taajuusrajojen ylit-

tyessä. Automaattiseen ohjaukseen vaadittava taajuussignaali voidaan mitata joko paikallisesti tai välittää ohjattaville kohteille keskitetysti. Ohjauksen nopeuden on oltava riittävä toteuttamaan taajuusohjatulle reservikapasiteetille asetetut yleiset vaatimukset: 5 tai 30 sekuntia taajuusohjatulle häiriöreserville ja 180 sekuntia taajuusohjatulle käyttöreserville. (Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosisopimus 2014)

Reservisuunnitelmat tulee toimittaa Fingridille EDI-sanomana käyttäen DELFOR-sanomamuotoa. EDI-sanomat ovat sähkömarkkinoiden tiedonvaihdossa käytettäviä sähköisiä viestejä. Reservinhaltijoiden pitää toimittaa Fingridille lisäksi yksikkökohtaisesti seuraavat tiedot reaaliajassa: tilatieto, pätöteho (MW), maksimiteho (MW), taajuusohjatun käyttöreservin määrä (MW), taajuusohjatun häiriöreservin määrä (MW), ja statiikka (%), jos koneella on useampi kuin yksi todennettu. Tietojen lähetysyyskli saa olla enintään 3 minuuttia. Reservinhaltijan on toimitettava Fingridille lisäksi reserveihin liittyvät laskutustiedot sekä historiatiedot Fingridin pyynnöstä. (Taajuusohjattujen reservien ylläpidon sovellusohje 2014)

Taajuusohjatuissa reserveissa ohjauksen perusteella tapahtunut tehonmuutos täytyy pysyä todentamaan. Fingrid vaatii reservikohteille tehtävät todentamiskokeet kohteiden säätökyvystä, ennen kuin kohde hyväksytään reserviin. (Taajuusohjattujen reservien ylläpidon sovellusohje 2014)

6.6.1 Vuosi- ja tuntimarkkinat

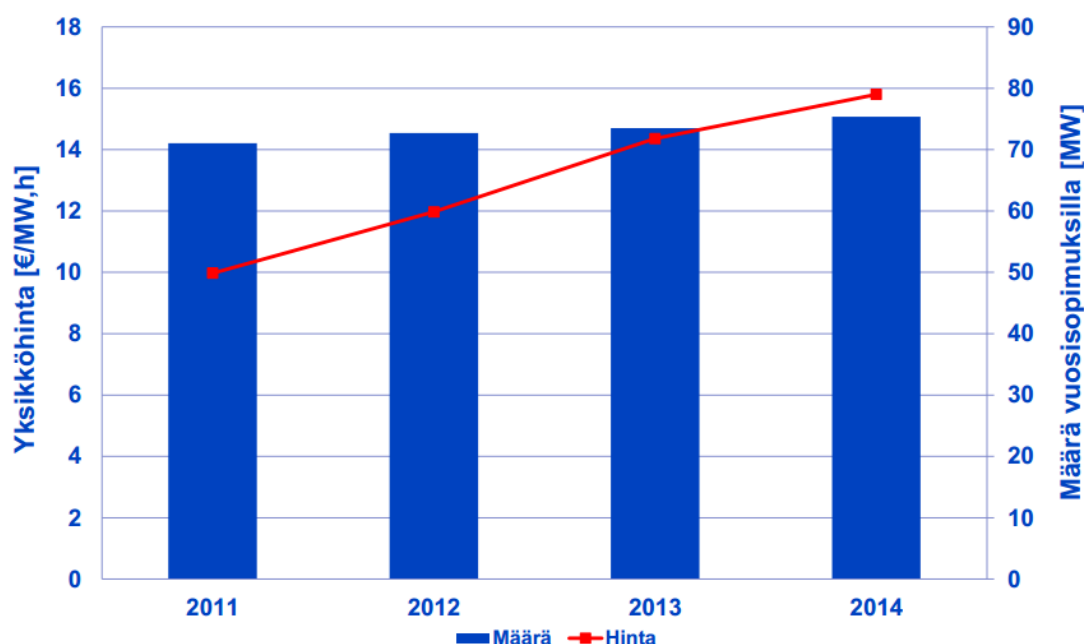
Taajuusohjattujen reservien vuosimarkkinoilla järjestetään joka syksy tarjouskilpailu, jonka perusteella määritetään kiinteä korvaushinta reserviin tarjotuille tunneille koko vuodeksi. Korvaushinta määräytyy vuosimarkkinalle hyväksytyn kalleimman tarjouksen perusteella. Fingrid ostaa tarjouskilpailussa hyväksytyn reservisuunnitelmien mukaisen kapasiteetin täysimääräisesti kaikille reserviin tarjotuille tunneille. Taajuusohjattujen reservien vuosimarkkinoille ei ole mahdollista osallistua kesken sopimuskauden. Seuraavan vuorokauden tunneille tarjottava kapasiteetti on ilmoitettava Fingridille kello 18.00 mennessä. Reservinhaltijat on velvoitettu ylläpitämään vuosimarkkinoille myytyä reserviä vapaan kapasiteetin puitteissa. (Taajuusohjattujen reservien hankintaehdot vuodelle 2014)

Taajuusohjattujen reservien tuntimarkkinoille on mahdollista osallistua tekemällä erillisen sopimuksen Fingridin kanssa. Osallistuminen tuntimarkkinoille on mahdollista myös vuosisopimuskauden keskellä. Tuntimarkkinoilla reservinhaltijat voivat päättää itse millä hinnalla he tarjoavat kapasiteettia reserviin. Markkinalle tulleista tarjouksista käytetään tarvittava määrä hintajärjestyksessä, halvimasta hinnasta alkaen. Korvaus määräytyy jokaiselle tunnille kalleimman tuntimarkkinalle hyväksytyn tarjouksen mukaan. Seuraavan vuorokauden tunneille tarjottava kapasiteetti on ilmoitettava Fingridille kello 18.30 mennessä. Reservinhaltija, joka osallistuu jo vuosimarkkinoille voi osallistua tuntimarkkinoille ainoastaan tilanteessa, jossa se on toimittanut jo täyden vuosisopimuksen mukaisen reservimäärän. (Taajuusohjattujen reservien hankintaehdot vuodelle 2014)

6.6.2 Taajuusohjattu käyttöreservi

Tällä hetkellä taajuusohjatuille käyttöreservimarkkinoille ei osallistu vielä yhtään kysyntäjoustokohdetta. Tämä johtuu reservin hyvin tiukoista teknisistä vaatimuksista. Fingridillä on menossa kuitenkin tällä hetkellä pilottiprojekti, jossa selvitetään pakastevaraston hyödyntämistä taajuusohjattuna käyttöreservinä. Taajuusohjattuun käyttöreserviin osallistumisen vaatimukset on esitetty taulukossa 2. Taajuusohjattuun käyttöreserviin osallistuvan kysyntäjoustokohteen on pystyttävä portaattomaan tehonsäätöön useita kertoja vuorokauden tai jopa yksittäisen tunnin sisällä. Lisäksi kohteen on pystyttävä säätämään sähkötehoa ylös tai alas riippuen valtakunnan tehotasapainosta. Säädetävän kuorman on aktivoiduttava välittömästi, kun valtakunnan sähköverkon taajuus poikkeaa 49,95-50,05 Hz:n taajuusalueelta ja aktivoiduttava täyteen tehoon kolmessa minuutissa. Käytännössä tähän reserviin osallistuminen vaatii todella joustavaa sähkönkulutuskuormaa. Reserviin osallistumisen minimikapasiteetti on 0,1 MW ja maksimikapasiteetti 5 MW. Taajuusohjattuun käyttöreserviin soveltuvia kysyntäjoustokohteita voisivat olla esimerkiksi lämpöpumput ja kompressorit. (Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosisopimus 2014)

Kuvassa 27 on esitetty taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoiden korvaushinta ja määrä vuosina 2011–2014. Vuosimarkkinoiden korvaushinta on noussut selkeästi, noin 6 €/MW, h, viimeisen neljän vuoden aikana. Vuosisopimuksella taajuusohjattuun käyttöreserviin osallistuvan kapasiteetin määrä ei ole sen sijaan noussut merkittävästi viime vuosina.



Kuva 27 Taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoiden korvaushinta ja määrä vuosina 2011–2014. (Vänskä, V 2013)

Taulukossa 4 on esitetty taajuusohjattujen käyttöreservien tuntimarkkinoiden käyttötunnit, keskimääräinen teho käyttötunnille ja korvaustasot vuosina 2011–2013. Taulukossa on oletettu, että kysyntäjoustokohdetta tarjotaan markkinalle vuoden kaikkina tunteina eli 8760 tuntia vuodessa. Käyttötuntien määrä tuntimarkkinoilla vaihtelee huomattavasti vuosittain. Keskimääräinen teho tuntimarkkinoilla on yleisesti matalalla tasolla, minkä takia tuntimarkkinoille tarjottavaan kysyntäjoukseen liittyy riski, etenkin jos markkinalle tarjotaan suurta kapasiteettia.

Taulukko 4 Taajuusohjattujen käyttöreservimarkkinoiden tuntimarkkinoiden käyttötunnit, keskimääräinen teho käyttötunnille ja korvaustasot vuosina 2011–2013. (Datan lähde: Fingrid Oyj 2014q)

	2011	2012	2013	Keskiarvo
Käyttötunnit vuodessa, h	3035	5933	6135	5034
Keskimääräinen teho käyttötunnille, MW	5,86	10,68	14,4	10,3
Keskimääräinen hinta käyttötunnille, €/MW, h	43,11	44,9	51,5	46,5

Taajuusohjatun käyttöreservin vuosimarkkinoiden korvaustaso oli vuonna 2013 14,36 €/MW, h. Tuntimarkkinoiden viimeisen kolmen vuoden korvaustason keskiarvo, 46,5 €/MW, h, on yli kolme kertaa suurempi kuin vuoden 2013 vuosimarkkinoiden korvaustaso. Tuntimarkkinoilla on kuitenkin selkeästi vähemmän käyttötunteja kuin vuosi-

markkinoilla. Käyttötuntien pienemmän määrän takia tuntimarkkinoilta saatavat korvaukset eivät ole huomattavasti suuremmat kuin vuosimarkkinoilla. Tuntimarkkinoihin liittyvien riskien takia markkinat ovat suhteellisen hyvässä tasapainossa. Taajuusohjattuun käyttöreserviin osallistumisesta saatavat korvaukset määritetään kertomalla kysyntäjoustokuorman teho käyttötunneilla sekä reservin korvaushinnalla.

Esimerkki taajuusohjattujen käyttöreservimarkkinoiden korvauksista:

- **Vuosimarkkinat:** kysyntäjoustokuorman teho 0,1 MW, käyttötunnit 8760, korvaushinta 2013 14,36 €/MW, $h = 12\,579$ €/vuosi
- **Tuntimarkkinat (arvot taulukon 4 mukaan):** kysyntäjoustokuorman teho 0,1 MW, käyttötunnit 5034, korvaushinta 46,5 €/MW, $h = 23\,411$ €/vuosi

6.6.3 Taajuusohjattu häiriöreservi

Taajuusohjattuun häiriöreserviin osallistuu nykyään jo jonkun verran kysyntäjoustokapasiteettia. Vuonna 2014 taajuusohjatun häiriöreservin vuosihankintaan osallistuu myös ensi kertaa kulutusta. (Fingrid Oyj 2013c)

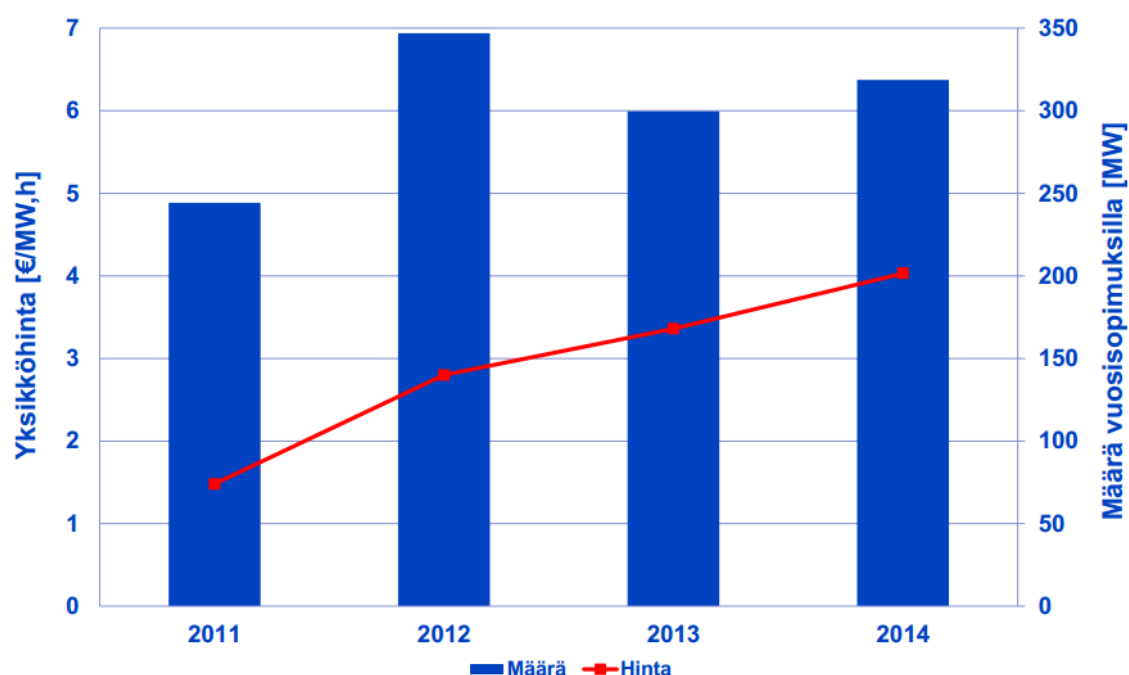
Taajuusohjatun häiriöreservin aktivoitumisvaatimukset ovat myös erittäin tiukkoja. Taajuusohjattuun häiriöreserviin osallistumisen vaatimukset on esitetty taulukossa 2. Kuorman on aktivoiduttava 50 % tehoon viidessä sekunnissa kun taajuus laskee alle 49,7 Hz ja täyteen tehoon 30 sekunnin kuluessa. Jos taajuus laskee alle 49,5 Hz:n kuorman on aktivoiduttava täyteen tehoon viidessä sekunnissa. Reservinhaltija saa kytkeä kysyntäjoustokuorman takaisin verkkoon kun taajuus on ollut vähintään 49,9 Hz viiden minuutin ajan. Taajuusohjatun häiriöreservin kapasiteetiksi sopivat kaikki irtikytkettävät kuormat, jotka voidaan aktivoida edellisten aikarajojen puitteissa. Reserviin osallistumisen minimikapasiteetti on 1 MW ja maksimikapasiteetti 10 MW. (Taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservin vuosisopimus 2014)

Taulukossa 5 on esitetty kuinka monta kertaa Suomen sähköverkon taajuus laski alle 49,7 Hz:n vuosina 2008–2012. Taulukossa poikkeamat on jaettu poikkeaman keston mukaan. Yli 40 sekuntia kestäviä poikkeamia esiintyi vain kaksi kertaa vuosina 2008 ja 2011. Tyypillisesti 49,7 Hz:n alittavia taajuuspoikkeamia esiintyi noin 5-10 kertaa vuodessa, mikä tarkoittaisi saman verran aktivoitumisia taajuusohjattuun häiriöreserviin osallistuvalla kysyntäjoustokohteelle.

Taulukko 5 Alle 49,7 Hz:n taajuudenpoikkeamien lukumäärät Suomen sähköverkossa vuosina 2008-2012. (Datan lähde: Jäppinen, J 2014)

Poikkeaman kesto	2008	2009	2010	2011	2012
0 - 5 s	2	1	5	4	1
5 - 40 s	2	6	5	6	6
> 40 s	1	0	0	1	0

Kuvassa 28 on esitetty taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinoiden korvaushinta ja määrä vuosina 2011–2014. Vuosimarkkinoiden korvaushinta on lähes kolminkertaistunut viimeisen neljän vuoden aikana. Vuosisopimuksella taajuusohjattuun käyttöreserviin osallistuvan kapasiteetin määrä on vaihdellut huomattavasti viime vuosina. Kapasiteetti kasvoi noin 70 MW vuosien 2011 ja 2014 välillä.



Kuva 28 Taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinoiden korvaushinta ja määrä vuosina 2011-2014. (Vänskä, V 2013)

Taulukko 6 Taajuusohjattujen häiriöreservimarkkinoiden tuntimarkkinoiden käyttötunnit, keskimääräinen teho käyttötunnille ja korvaustasot vuosina 2011-2013. (Datan lähde: Fingrid Oyj 2014r)

	2011	2012	2013	Keskiarvo
Käyttötunnit vuodessa, h	5832	2821	6358	5004
Keskimääräinen teho käyttötunnille, MW	9,7	6,5	15,3	10,5
Keskimääräinen hinta käyttötunnille, €/MW, h	25,4	18,73	32,2	25,4

Taulukossa 6 on esitetty taajuusohjattujen häiriöreservien tuntimarkkinoiden käyttötunnit, keskimääräinen teho käyttötunnille ja korvaustasot vuosina 2011–2013. Taulukossa on oletettu, että kysyntäjoustokohdetta tarjotaan markkinalle vuoden kaikkina tunteina eli 8760 tuntia vuodessa. Taajuusohjatun häiriöreservin käyttötuntien määrä tuntimarkkinoilla vaihtelee vuosittain jopa enemmän kuin taajuusohjatulle käyttöreserville. Keskimääräinen teho tuntimarkkinoilla on myös matalalla tasolla taajuusohjatuilla häiriöreservimarkkinoilla, minkä takia tuntimarkkinoille tarjottavaan kysyntäjoustoon liittyy riski, etenkin jos markkinalle tarjotaan suurta kapasiteettia.

Taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinoiden korvaustaso oli vuonna 2013 3,36 €/MW, h. Tuntimarkkinoiden viimeisen kolmen vuoden korvaustason keskiarvo, 25,4 €/MW, h, on yli seitsemän kertaa suurempi kuin vuosimarkkinoiden korvaustaso. Vaikka tuntimarkkinoilla on vähemmän käyttötunteja kuin vuosimarkkinoilla, reserveistä saatavat korvaustasot ovat epätasapainossa tuntimarkkinoiden ja vuosimarkkinoiden välillä. Tuntimarkkinoilta saatavat korvaukset ovat huomattavasti isommat verrattuna vuosimarkkinoihin. Taajuusohjattuun häiriöreserviin osallistumisesta saatavat korvaukset määritetään kertomalla kysyntäjoustokuorman teho käyttötunneilla sekä reservin korvaushinnalla.

Esimerkki taajuusohjattujen häiriöreservimarkkinoiden korvauksista:

- **Vuosimarkkinat:** kysyntäjoustokuorman teho 1 MW, käyttötunnit 8760, korvaushinta 2013 3,36 €/MW, h = 29 434 €/vuosi
- **Tuntimarkkinat (arvot taulukon 6 mukaan):** kysyntäjoustokuorman teho 1 MW, käyttötunnit 5004 (taulukosta), korvaushinta 25,4 €/MW, h = 127 310 €/vuosi

Esimerkin perusteella markkinat ovat tällä hetkellä epätasapainossa siitä huolimatta, että tuntimarkkinoille osallistumiseen liittyy volyyimiriski.

6.7 Nopea häiriöreservi

Nopean häiriöreservin toimintaperiaate on esitetty kappaleessa 2.2.3. Suurin osa nopean häiriöreservin kapasiteetista hankitaan varavoimalaitoksilla ja kahdenvälisin sopimuksin hankituilla käyttöoikeussopimuslaitoksilla. Kysyntäjoustolla on tärkeä rooli nopean häiriöreservikapasiteetin ylläpitämisessä. Fingridillä on ollut jo pitkään sopimuksia puunja-

lostus-, kemian- ja metalliteollisuusyritysten kanssa irtikytettävien kuormien käyttämisestä nopeana häiriöreservikapasiteettina. Nykyiset sopimukset ovat voimassa vuoteen 2015 asti. (Fingrid Oyj 2014h)

Nopean häiriöreservin vaatimukset kysyntäjoustolle on esitetty taulukossa 2. Nopea häiriöreservi aktivoidaan sähköverkon vakavissa häiriöissä palauttamaan taajuusohjatut reservit normaalitilaan. Kuorman on aktivoiduttava viimeistään 15 minuutin kuluessa toimenpidepyynnöstä alkaen. Aktivointeja tapahtuu hyvin harvoin, vain noin kerran vuodessa. Kysyntäjoustokuorman arvioitu käytettävyyys nopeassa häiriöreservissä on vähintään 7000 tuntia vuodessa. Lisäksi reservin aktivoituessa vaaditaan, että kuorman on voitava olla irtikytettynä vähintään kolme tuntia. (Hetkellisen reservin, taajuusohjatun ja nopean häiriöreservin ylläpitosopimus 2004)

Valmiustilasta maksetaan jatkuvaa korvausta, minkä lisäksi aktivoituneelle energialle maksetaan erillinen korvaus. Nopean häiriöreservin vuosikorvaus on 1740 €/MW ja tuntikorvaus, jokaiselle valmiustilassa olevalle tunnille 0,30 €/MW. Mikäli irtikytkenässä vapautunut energia on suurempi kuin 5 MWh, Fingrid maksaa energiakorvausta reservinhaltijalle 580 €/MWh. (Hetkellisen reservin, taajuusohjatun ja nopean häiriöreservin ylläpitosopimus 2004, Reservinä toimivien irtikytettävien kuormien maksujen tarkistus 2012)

Nopean häiriöreservin korvaustasot ovat alhaisella tasolla, minkä lisäksi markkinapaikan 10 MW:n minimivaatimus rajoittaa monen sähkönkulutuskohteen osallistumista markkinoille. Toisaalta tälle markkinapaikalle osallistuminen on suhteellisen helppoa ja riskitöntä.

6.8 Tehoreservi

Tehoreservin toimintaperiaatteet on esitetty kappaleessa 2.2.4. Tehoreservi on uusin markkinapaikka kysyntäjouston kannalta eikä tehoreserviin osallistu nykytilanteessa lainkaan kulutuskuormaa. Sähkön kulutuksen joustoon kykeneviä kohteita on voitu tarjota tehoreserviin 1.12.2013 alkaen. Vuonna 2013 syksyllä tehoreservin tarjouskyselyyn ei tullut kulutukseen perustuvia tarjouksia. Tämän uskotaan johtuvan tehoreserviin osallistuvalla kulutuksella asetetuista hankalista säännöistä. (Fingrid Oyj 2013d)

Tehoreservissä kulutuskohteiden tarjottava valmiutta reserviin talvijaksolle 1.12–28.2. Tarjoaja sitoutuu tekemään tarjouksen säätösähkömarkkinoille talvijakson ajaksi (pois lukien käyttöhäiriöt). Minimikoko tarjouksille on 10 MW, koostuen joko yhdestä yksittäisestä kulutuskohteesta tai useammasta pienemmästä jotka on yhdistetty isommaksi kokonaisuudeksi (aggregoitu). Kohteelta vaaditaan valmius vähintään 200 tunnin aktivointiin jakson aikana, minkä lisäksi kohteilla on 10 minuutin aktivoitumisvaade ohjauskäskyn antamisesta. Tarjoukset hinnoitellaan samojen periaatteiden mukaan koko jaksolle. Tehoreserviin osallistuvat tarjoukset aktivoidaan markkinaehtoisten tarjousten jälkeen. (Energiamarkkinavirasto 2013b)

Tehoreserviin liittyvää tietoa ei ole saatavilla riittävästi nykyisellään, minkä takia tämän reservin analysoiminen on haastavaa. Kuten tämän kappaleen alussa mainittiin, tehoreserviin ei osallistu nykytilanteessa kulutusjoustoja hankalien sääntöjen takia. Tehoreservi on kuitenkin kiinnostava markkinapaikka kysyntäjouston kannalta, ja sen rooli tulee kasvamaan tulevaisuudessa.

7 Fingrid Oyj:n kysyntäjouaston pilottiprojektit

Fingrid on ottanut viime aikoina aktiivisemmän roolin kysyntäjoustopotentialin lisäämiseksi Suomen sähkömarkkinoilla. Tärkein konkreettinen askel kysyntäjoustopotentialin lisäämiseksi uusissa kohteissa on Fingridin vuoden 2013 lopussa käynnistämä hanke kysyntäjoustopotentialin pilottiprojekteille. Tässä luvussa esitetään pilottiprojekteihin osallistumisen periaatteet sekä kuvaillaan kahden jo käynnissä olevan pilottiprojektin edistymistä. (Fingrid Oyj 2013e)

7.1 Kysyntäjoustopotentialin pilottiprojektien periaatteet

Fingrid pyrkii kehittämään sähkönkulutuskohteiden mahdollisuuksia osallistua kysyntäjoustopotentialin säättönsähkömarkkinoiden ja Fingridin reservien kautta. Fingrid tukee yritysten ja sähkönkulutuskohteiden osallistumista kysyntäjoustopotentialin pilottiprojektien avulla. Pilottiprojektien tavoitteena on kehittää kysyntäjoustopotentialin liittyviä uusia toimintamalleja sekä teknisiä ratkaisuja ja lisätä kysyntäjoustopotentialin määrää sähkömarkkinoilla. (Fingrid Oyj 2013e)

Pilottiprojektien tarkoituksena on löytää uusia kysyntäjoustopotentialikohteita, jotka osallistuisivat seuraaville kysyntäjoustopotentialimarkkinoille: säättönsähkömarkkinat, taajuusohjatun käyttöreservin vuosi- ja tuntimarkkinat, taajuusohjatun häiriöreservin vuosi- ja tuntimarkkinat ja nopea häiriöreservi. Fingrid myöntää tukea vain sähkönkulutuskohteille, jotka eivät ole osallistuneet aikaisemmin näille markkinoille tai jotka haluavat laajentaa osallistumista näillä markkinoilla. Kaikkien eri sähkömarkkinoiden osapuolien on mahdollista osallistua pilottiprojekteihin. Tarkoituksena on kehittää yhteistyömalleja sähkön myyjien, aggregaattorien, laitevalmistajien, verkkoyhtiöiden, teollisuuden ja kaupan alan yritysten sekä muiden osapuolien kanssa, joilla on kysyntäjoustopotentialin soveltuvia sähkönkulutuskohteita. Pilottiprojekteihin hyväksytään myös markkinoilla hyödyntämättömät pien- tuotannon kohteet kuten varavoimakoneet. (Fingrid Oyj 2013e)

Pilottiprojekteihin osallistumiseksi yrityksiltä vaaditaan yksityiskohtainen projektisuunnitelma projektin toteutuksesta. Projektisuunnitelman tulee pitää sisällään projektin kohteena olevat sähkönkulutuskohteet tai varavoimakoneet, kohteiden lukumäärä ja arvioitu teho, arvioitu tehon säättöalue, projektin toteutus aika, selvitettävät teknilliset ratkaisut, ensisijaisesti tavoiteltava markkinapaikka, arvioidut kustannukset sekä projektiin osal-

listuvat osapuolet. Toteuttamispäätöksessä otetaan huomioon projektin kustannukset, uutuusarvo, uusien toimintamallien ja tekniikan hyödyntäminen sekä kysyntäjousto-kuorman suuruus. Projektin monistettavuus muissa samanlaisissa kohteissa on lisäksi tärkeää. Hyväksytyissä projekteissa osapuolet solmivat keskenään sopimuksen, jossa sovitaan tarkasti projektin toteutukseen liittyvistä asioista kuten tavoitteista, aikatauluis- ta ja vastuista. (Fingrid Oyj 2013e)

7.1.1 Säättösähkömarkkinan pilottiprojektit

Suomen, Ruotsin, Norjan ja Tanskan kantaverkkoyhtiöt tilasivat vuonna 2013 konsulttil- ta säättösähkömarkkinoiden kehittämistä koskevan selvityksen (Pohjoismaainen sää- ttösähkömarkkinaselvitys (RPM Review)). Yhtenä selvityksen tärkeimmistä kehityseh- dotuksista on säättötarjousten tehorajan alentaminen 5 MW:iin. Fingrid päätti käynnistää selvityksen kehitysehdotukseen perustuen pilottihankkeen, jossa säättösähkömarkkinoille osallistumisen tehorajaa alennetaan 5 MW:iin. (Piipponen, J 2013)

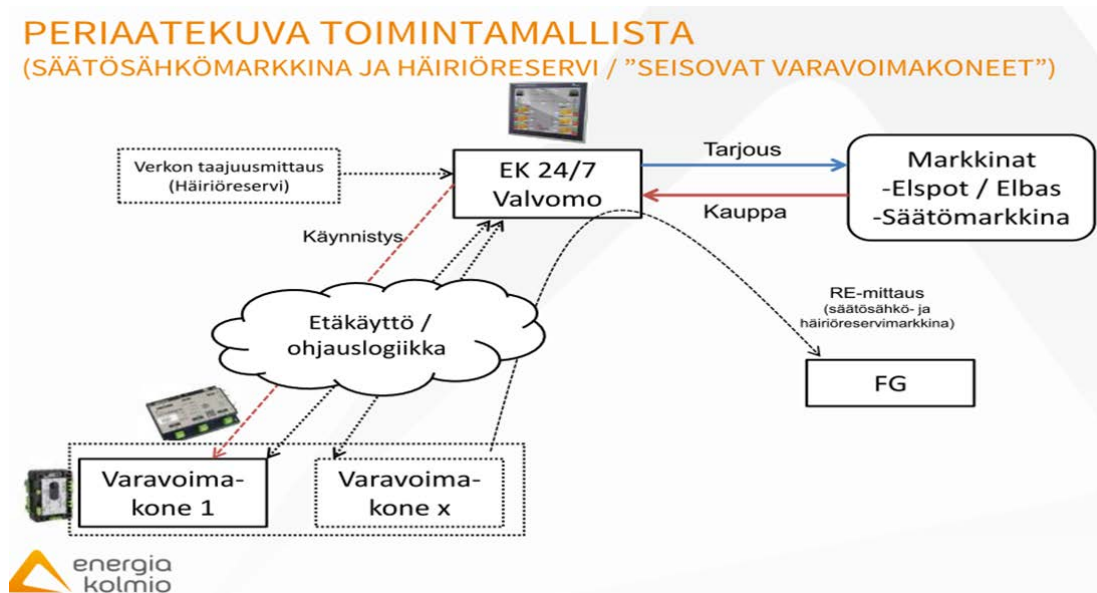
Säättösähkömarkkinan pilottihankkeen tarkoituksena on edesauttaa pienempien toimi- joiden tuloa säättösähkömarkkinoille ja näin ollen kasvattaa säättösähkömarkkinan vo- lyymia. Hankkeen testijakso on avoinna tuotanto- ja kulutuskohteille kuuden kuukauden ajan (1.1.2014 – 30.6.2014). Pilottiprojekteiksi hyväksytään 5-9 MW:n tarjoukset, jotka voivat olla yksittäisiä tai aggregoituja. Tarjoukset voivat olla ylös- tai alassäättötarjouk- sia. Hankkeen uskotaan antavan toimijoille, jotka eivät osallistu vielä aktiivisesti sää- ttösähkömarkkinoille, tärkeää kokoemusta säättösähkömarkkinoiden toiminnasta. Lisäksi hankkeessa saadaan käyttökokemuksia pienempien tarjousten aktivoinnista ja yleisestä käyttökelpoisuudesta. Pilotissa ei vaadita reaaliaikamittausta, vaikka yhtenä tavoitteista on tutkia säädön todennettavuutta. (Piipponen, J 2013)

7.2 Pilottiprojekti 1: Varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien aggregointi

Fingrid ja Energiakolmio Oy ovat käynnistäneet yhteisen kysyntäjouston pilottiprojek- tin, jossa selvitetään pienten varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien (Uninterruptible Power Supply) hyödyntämistä kysyntäjoustomarkkinoilla. Varavoimakoneilla voidaan tuottaa sähköä useiden tuntien ajan jatkuvakestoisesti. UPS-järjestelmät pystyvät sen sijaan ainoastaan lyhytkestoiseen varavoiman tuotantoon. Pilottiprojektin tarkoituksena on selvittää pienten noin 0,5 – 1 MW:n, eri osapuolten omistamien ja maantieteellisesti

hajautettujen, varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien kuorman aggregoimista suuremmiksi yksiköiksi. Hanke perustuu siihen, että varavoimakoneet seisovat suurimman osan ajasta käyttämättöminä, minkä takia kohteissa käytettävät polttoaineet saattavat vanhentua ja kohteiden täyttä potentiaalia ei hyödynnetä. Kun kohteet aggregoidaan yhteen, voidaan kokonaiskuormaa tarjota kysyntäjoustomarkkinoille, joiden tehorajoitukset rajoittavat yksittäisten kohteiden osallistumista markkinoille. Erillisten kuormien aggregointiin liittyvät periaatteet on esitetty tarkemmin kappaleessa 4.5. Energiakolmio Oy toimii pilottiprojektin aggregaattorina. (Energiakolmio 2014b, Jäppinen, J 2014)

Pilottiprojektin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 29. Toteutuksen perustana on Energiakolmion valvomo, josta ohjataan prosessien toimintaa ja välitetään tietoa eri osapuolille. Toteutuksessa aggregoitua kysyntäjoustokuormaa tarjotaan joko säätösähkömarkkinoille tai taajuusohjattuun häiriöreserviin. Säätösähkömarkkinoille osallistuttaessa eri kysyntäjoustokohteet vaihtavat kysyntäjoustokuormatarjoukseen liittyviä tietoja Energiakolmion valvomon kanssa, joka aggregoi tarjoukset yhteen ja tarjoaa yhteiskuormaa säätösähkömarkkinoille. Kun tarjous käytetään säätösähkömarkkinoilla, Energiakolmio välittää tiedon kysyntäjoustokohteisiin, jotka aktivoituvat samanaikaisesti tarjouksen mukaan. (Energiakolmio 2014b, Jäppinen, J 2014)



Kuva 29 Varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien aggregointiin liittyvän kysyntäjouston pilottiprojektin toimintaperiaatteet. (Jäppinen, J 2014)

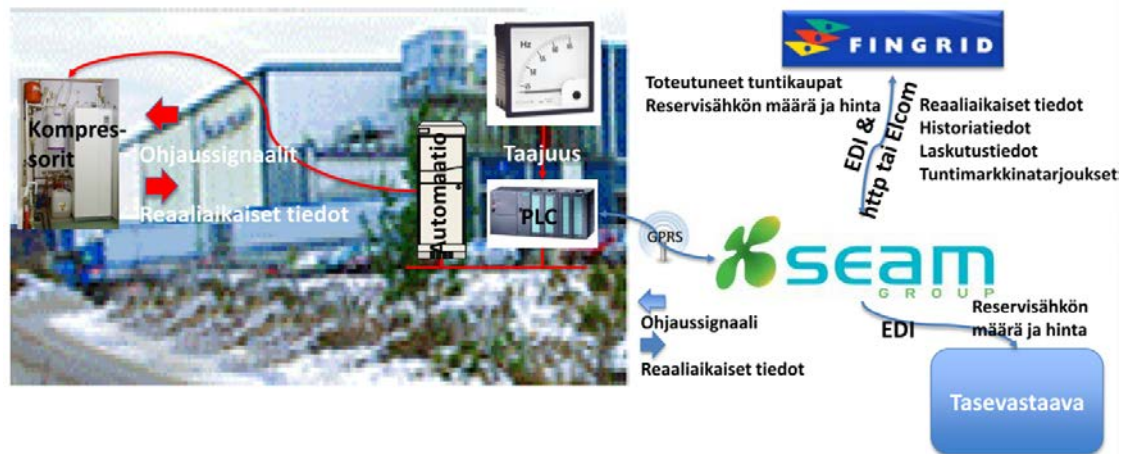
Taajuusohjattuun häiriöreserviin osallistuttaessa Energiakolmio mittaa sähköverkon taajuutta ja lähettää automaattisen ohjauskäskyn kysyntäjoustokohteille taajuuden laskiessa alle 49,7 Hz:n. Ohjauskäsky käynnistää automaattisesti varavoimakoneiden ja UPS-järjestelmien kysyntäjoustokuorman. Energiakolmio hoitaa lisäksi reaaliaikaisen tiedonvaihdon sekä laskutus- ja historiatietojen lähettämisen Fingridille.

7.3 Pilottiprojekti 2: Pakastevaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi

Fingrid, Oy KWH Freeze Ab ja SEAM Group Oy ovat käynnistäneet yhteisen kysyntäjoustopilottiprojektin, jossa selvitetään pakastevaraston mahdollisuutta osallistua taajuusohjattuun käyttöreserviin. Oy KWH Freeze varastoi ja käsittelee pakastettuja elintarvikkeita asiakkaidensa laskuun sekä vuokraa tiloja tavarankäsittelystä itse huolehtiville asiakkaille. (Oy KWH Freeze Ab 14) SEAM Group Oy on kysyntäjoustopotentialin erikoistunut palveluyritys, joka tekee yrityksille kartoituksia kysyntäjoustopotentiaalista ja implementoi kysyntäjoustopotentialin toteutusratkaisuja. (SEAM Group Oy 2014)

Pilottiprojektissa on tarkoitus hyödyntää Oy KWH Freeze:n pakastevaraston kylmäkoneiden käyttämiä kompressoreja kysyntäjoustopotentialissa. Kompressoreja käytetään lämmönsiirrossa tarvittavan mekaanisen työn tekemiseen. Pakastevaraston lämpötila voi vaihdella hieman tiettyjen rajojen sisäpuolella, minkä takia kylmentämiseen käytettävien kompressorien sähkötehoa voidaan säätää joustavasti. Tämä tarjoaa pakastevarastolle mahdollisuuden osallistua taajuusohjattuun käyttöreserviin.

Pilottiprojektin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 30. Toteutuksessa SEAM Group Oy ohjaa kylmävaraston kompressoreja sähköverkon taajuuden muutosten mukaan. SEAM Group Oy hoitaa lisäksi kaiken kysyntäjoustopotentialin liittyvän tiedonvälityksen. Tiedonvälitykseen kuuluvat reaaliaikaisten tietojen välitys kysyntäjoustopotentialista Fingridille, historia- ja laskutustietojen toimittaminen Fingridille, tuntimarkkinatarjousten välittäminen Fingridille sekä reserviin osallistuvan kohteen sähkönkulutukseen liittyvien tietojen välitys tasevastaavalle. (Jäppinen, J 2014)



Kuva 30 Pakastevaraston hyödyntäminen taajuusohjatuksi käyttöreserviksi: kysyntäjouaston pilot-tiprojektin toimintaperiaatteet. (Jäppinen, J 2014)

8 Yrityshaastatteluiden tulokset

Tässä luvussa esitetään Fingrid Oyj:n ja Pöyry Management Consulting Oy:n yhteisen hankkeen ensimmäisen vaiheen tulokset. Taulukossa 7 on esitetty haastateltujen yritysten kysyntäjoustopotentiaali, nykyinen osallistuminen kysyntäjoustopotentialin eri markkinapaikoille, kohteiden tekninen soveltuvuus kysyntäjoustopotentialiin, asenteet kysyntäjoustopotentialia kohtaan sekä sähkökustannusten merkitys yrityksille. Sähkökustannusten merkitystä yritykselle, yrityksen asenteet kysyntäjoustopotentialia kohtaan ja yrityksen sähkönkulutuskohteiden soveltuvuutta kysyntäjoustopotentialiin on arvioitu skaalalla, jossa ++ tarkoittaa parasta tasoa, +/- tarkoittaa kohtalaista tasoa ja - tarkoittaa heikointa tasoa edellä mainituille asioille.

Taulukko 7 Yrityshaastatteluiden tulokset. (++ = paras taso, +/- = kohtalainen taso, - = heikoin taso)

Yritys	Kysyntäjoustopotentialin osallistuminen	Soveltuvuus	Asenteet	Sähkökustannusten merkitys
Metallienjalostusteollisuus: Yritys 1	Elspot-, Elbas- ja säätösähkömarkkinat	+/-	+	+
Metallienjalostusteollisuus: Yritys 2	Elspot- ja Elbas-markkinat	+/-	-	+
Kone- ja metallituote-teollisuus: Yritys 1	Ei osallistu	+/-	+/-	-
Metsäteollisuus: Yritys 1	Nopea häiriöreservi, Elspot-, Elbas- ja säätösähkömarkkinat	+	++	+
Kiinteistöala: Yritys 1	Ei osallistu	+	+	+/-
Kauppakeskukset: Yritys 1	Ei osallistu	+	+/-	+
Elintarviketeollisuus: Yritys 1	Osallistuu osin taa-juusohjattuun reserviin	+	++	+/-
Kemianteollisuus: Yritys 1	Ei osallistu	+/-	+/-	+
Kemianteollisuus: Yritys 2	Nopea häiriöreservi, Elspot-, Elbas- ja säätösähkömarkkinat	+	+	++
Kaivannaisteollisuus: Yritys 1	Ei osallistu	+/-	+	+
Rakennustuoteteollisuus: Yritys 1	Ei osallistu	-	++	-
Kasvihuone: Yritys 1	Ei osallistu	+	+	++
Vedenkäsittely: Kuntayhtymä 1	Ei osallistu	++	++	+

8.1 Kysyntäjoustopotentiaali eri teollisuuden aloilla

Yrityshaastatteluiden perusteella metsäteollisuuden, metallienjalostusteollisuuden sekä kemianteollisuuden yrityksillä on suurin potentiaali kysyntäjoustopotentiaalin toteuttamiseksi. Nämä tulokset ovat yhdenmukaisia VTT:n tekemän kysyntäjoustoselvityksen kanssa. (VTT 2005) Näillä teollisuuden aloilla tuotantoprosessit ovat erittäin energiantensiivisiä ja sähkönkulutuskohteiden tehot suuria.

Uutta kysyntäjoustopotentiaalia on yrityshaastatteluiden perusteella kuitenkin monilla aloilla kuten kone- ja metallituoteteollisuudessa, kiinteistöalalla, elintarviketeollisuudessa, kaivannaisteollisuudessa sekä kasvihuoneissa ja vedenkäsittelyä tekevissä kohteissa. Lisäksi eri teollisuuden aloilla käytettäviä varavoimakoneita voitaisiin hyödyntää jatkossa kysyntäjoustopotentiaaliin. Kysyntäjoustopotentiaali ei ole näillä aloilla merkittävän suuri, jos tarkastellaan ainoastaan yksittäisten sähkönkulutuskohteiden tehokapasiteettia. Useat sähkönkulutuskohteet näillä aloilla ovat kuitenkin erittäin joustavia, minkä takia niitä voitaisiin hyödyntää jatkossa mahdollisesti Fingridin reservikapasiteettina. Pienempien kysyntäjoustokohteiden kapasiteetin kerääminen yhteen aggregaattorien (aggregaattori-malli esitetty kappaleessa 4.5) toimesta on myös kiinnostava mahdollisuus tulevaisuudessa.

8.2 Asenteet kysyntäjoustopotentiaalia kohtaan

Asenteella on tärkeä rooli uuden kysyntäjoustopotentiaalin käyttöönoton yhteydessä. Jos yrityksen asenteet ovat konservatiivisia ja uusia mahdollisuuksia ei haluta tutkia, kysyntäjoustopotentiaalin mahdollisia hyötyjä ja vaikutusta yrityksen kannattavuuteen on mahdollista selvittää. Tuotantohenkilöstöä voi olla vaikeaa motivoida kysyntäjoustopotentiaalin toteuttamiseen, koska henkilöstön on opeteltava uusia toimintatapoja ja heidän työtehtävänsä muuttuvat haasteellisemmiksi. Lisäksi riski prosessin häiriintymisestä ja tuotantolaitteiden rikkoutumisesta kasvaa kun prosessia joudutaan muuttamaan (VTT 2005 s. 23).

Sähkökustannusten merkitys vaikuttaa usein yritysten aktiivisuuteen kysyntäjoustopotentiaalin markkinoilla. Jos sähkökustannukset ovat tärkeitä yritykselle, yritys on tutkinut jo usein eri vaihtoehtoja kustannusten vähentämiseen. Osallistuminen kysyntäjoustopotentiaalin markkinoille tai sähkönhankinnan suojaaminen on yleisempää näille yrityksille. Lisäksi näissä yri-

tyksissä tuotannon suunnittelijoille on voitu asettaa tavoitteita energiakustannuksissa säästämiseksi, mikä lisää kiinnostusta kysyntäjoustomahdollisuuksien selvittämiseen. Yrityshaastatteluiden perusteella uusia mahdollisuuksia kysyntäjouaston toteuttamiseen on mahdollista löytää, esimerkiksi Fingridin reservimarkkinoilta, myös yrityksille, jotka ovat jo tehneet selvityksiä sähkökustannusten alentamiseksi.

Yrityshaastatteluihin osallistuneiden yritysten asenteet kysyntäjousta kohtaan olivat yleisesti suhteellisen positiivisia. Haastattelusta kieltäytyi kuitenkin kolme yritystä ja yksi vedenkäsittelylaitos. Näiden yritysten yhteyshenkilöiden asenteet kysyntäjousta kohtaan olivat konservatiivisia, eivätkä henkilöt ymmärtäneet täysin mitä kysyntäjoustaolla tarkoitetaan ja mitä mahdollisuuksia kysyntäjousto tarjoaa.

Kaikista aloista haasteellisimmiksi osoittautuivat metallinjalostusteollisuuden yritysten asenteet. Metallinjalostusteollisuuden yritykset ovat usein pääasiassa kiinnostuneita nykyisten prosessien toimivuudesta, eikä prosessien toimivuutta haluta vaarantaa. Kolmesta yrityksestä ainoastaan yhden yrityksen asenteet olivat myönteisiä kysyntäjousta kohtaan. Yrityksillä ei ole välttämättä resursseja selvittää kysyntäjoustaon osallistumiseen vaadittavia toimia perusteellisesti. Kysyntäjoustaon toteuttaminen vaatii yrityksiltä suunnittelua ja aikaa, eivätkä kysyntäjoustaosta saatavat tuotot ole aina riittävän suuria, jotta asiaa haluttaisiin priorisoida. Sähkökustannuksilla on merkittävä rooli tällä alalla, minkä takia yritykset osallistuvat jo osittain kysyntäjoustaomarkkinoille. Metallinjalostusteollisuuden yrityksillä olisi kuitenkin mahdollisuuksia lisätä aktiivisuutta kysyntäjoustaomarkkinoilla.

8.3 Sähkönkulutuskohteiden soveltuvuus kysyntäjoustaon

Kysyntäjoustaon toteuttaminen sähkönkulutuskohteissa on haastavaa. Kulutuskohteen soveltumiseksi kysyntäjoustaon, yritysten automaatiotason ja sähkönkulutuksen seurannan täytyy olla korkealla tasolla. Tuotantoprosessi ja kysyntäjoustaon markkinapaikat asettavat lisäksi eri vaatimuksia sähkönkulutuskohteille. Sähkönkulutuskohteiden säädettävyys ja automaatiojärjestelmät ovat kehittyneet uuden teknologian myötä jatkuvasti viime vuosina ja kehittyvät edelleen tulevaisuudessa, mikä mahdollistaa uusien kohteiden hyödyntämisen kysyntäjoustaomarkkinoilla.

8.3.1 Tuotantoprosessien rajoitukset

Teollisuuden tuotantoprosessit asettavat sähkönkulutuskohteille rajoituksia kysyntäjouston osallistumiselle. Etenkin prosessiteollisuudessa tuotantoprosessit ovat usein integroitua kokonaisuuksia, minkä takia koko prosessi saattaa häiriintyä jos yhden osatekijän sähkönkäyttöä muutetaan. Prosessilaitteiston pysäyttämällä ja uudelleenkäynnistämällä voi olla suuria vaikutuksia moneen eri tekijään. Kysyntäjoustotoimet saattavat lisätä tuotantokustannuksia, huonontaa tuotteen laatua ja alentaa laitteiston käyttöikää. Lisäksi tuotantolinjan ylösajo, pysäyttämisen jälkeen, voi olla haastavaa ja kestää useita tunteja. Sähköä käyttävät prosessit voivat olla myös integroituneita esimerkiksi lämmitysprosesseihin ja prosessikaasun tuotantoon, minkä takia sähköä käyttävän laitteiston sammuttaminen saattaa aiheuttaa ongelmia näihin prosesseihin. (VTT 2005 s. 22)

Yrityshaastatteluiden perusteella tuotantoprosessin asettamat rajoitukset kysyntäjoustolle vaihtelevat huomattavasti eri teollisuuden aloilla ja prosesseissa. Vaativissa prosesseissa kuten metallinjalostusteollisuudessa, prosessit asettavat selkeitä rajoituksia kysyntäjouston toteuttamiselle. Tuotantoprosesseja ajetaan pääasiassa tilauskannan mukaan ja sähkön markkinahinta vaikuttaa tuotantoon ainoastaan korkeimpien hintapiikki- en aikana.

Toisaalta joustavammissa prosesseissa, kuten kemianteollisuuden elektrolyysiprosesseissa, sähkön markkinahinnalla on suuri vaikutus tuotannon suunnitteluun. Elektrolyysiprosessissa tuotantoa voidaan säätää varastotasolla, minkä takia tämä tuotantoprosessi on huomattavasti joustavampi kuin metallinjalostusteollisuuden prosessit. Myös metsäteollisuuden mekaanisen massan valmistusprosesseissa voidaan käyttää hyväksi varastotasoja, mikä tekee prosessista joustavamman ja paremmin soveltuvan kysyntäjouston.

Myös muilla aloilla on avainasioita, jotka rajoittavat kysyntäjouston toteuttamista. Kauppakeskuksissa asiakastytyväisyys rajoittaa valaistuksen ja ilmastoinnin säätömahdollisuuksia vuorokauden tiettyyn aikaan. Vedenpuhdistamoissa puhdistettavan veden laadun täytyy pysyä tietyllä tasolla. Veden laatu ei saa vaarantua säätötoimenpiteiden seurauksena. Elintarviketeollisuudessa kylmävarastojen lämpötilan on pysyttävä tiettyjen rajojen sisällä niin, että tuotteet eivät pilaannu. Kaikilla näillä aloilla on kuitenkin

kin mahdollisuuksia osallistua kysyntäjousto on sillä ehdolla, että kysyntäjousto on määritetty tarkat rajaehdot.

8.3.2 Kysyntäjousto markkinapaikkojen vaatimukset

Kysyntäjousto markkinapaikkojen vaatimukset on esitetty tarkasti luvussa 6 ja taulukossa 2. Kysyntäjousto osallistumiseksi ei riitä, että sähkönkulutuskohteella on suuri tehokapasiteetti. Kohteiden pitää pystyä vastaamaan kysyntäjousto markkinapaikkojen vaatimuksiin, minkä takia kohteiden säädettävyyden täytyy olla hyvällä tasolla. Kohteiden joustavuutta ei ole selvitetty usein tarkasti yrityksissä, vaikka alustavia selvityksiä kysyntäjoustomahdollisuuksista olisikin jo tehty.

Kysyntäjousto markkinapaikkojen asettamia vaatimuksia kuvaa hyvin tapaus, yritys haastatteluun osallistuneesta rakennustuotteita valmistavasta yrityksestä. Kyseinen yritys oli erittäin kiinnostunut osallistumaan kysyntäjousto, minkä lisäksi yritykselle tunnistettiin useita potentiaalisia sähkönkulutuskohteita, jotka voisivat osallistua kysyntäjousto. Kysyntäjousto markkinapaikkojen vaatimukset kysyntäjoustokuorman teholle sekä aktivoitumisajalle olivat kuitenkin liian haastavia, jotta yritys voisi osallistua muille kysyntäjoustomarkkinoille kuin Elspot- ja Elbas-markkinoille.

8.3.3 Automaatio ja sähkönkulutuksen seuranta

Kysyntäjousto toteuttaminen vaatii markkinapaikan vaatimuksista ja tuotantoprosessista riippuen automaattista ohjausjärjestelmää ja kehittyneitä sähkönkulutuksen seurantarjestelmiä. Automaation on oltava paremmalla tasolla siitä riippuen, mitä vaativampi aktivoitumisvaade kuorman ohjaukselle on asetettu. Taajuusohjatuille reservimarkkinoille osallistuminen vaatii kysyntäjoustokohteelta huomattavan nopeaa säätöominaisuutta sekä reaaliaikaista sähkönkulutuksen seuranta. Kysyntäjousto todentaminen vaatii lisäksi toimivaa sähkönkulutuksen seurantajärjestelmää.

Yrityshaastatteluiden perusteella automaatiojärjestelmien taso ja sähkönkulutuksen seurannan menetelmät vaihtelevat myös paljon teollisuuden alasta, yrityksestä ja prosesseista riippuen. Yleisesti ottaen ohjaus- ja valvontajärjestelmät on toteutettu vain yksittäisille kohteille. Joissain yrityksissä on tehty laaja seurantajärjestelmä kaikille yrityksen sähkönkulutuskohteille niin, että automaatiojärjestelmät on toteutettu kuitenkin vain

yksittäisille kohteille. Yleisesti voidaan sanoa, että joustavammissa prosesseissa käytetään myös kehittyneempiä automaatio- ja seurantajärjestelmiä.

8.4 Osallistuminen kysyntäjoustop eri markkinapaikoille

Yrityshaastatteluiden perusteella kysyntäjoustop on alettu tekemään enemmän viime vuosina Elspot-markkinoilla. Silti haastatelluista yrityksistä vain hieman yli 30 % toteuttaa kysyntäjoustop Elspot-markkinoilla. Yhä useampi yritys on alkanut kuitenkin seuraamaan sähkön hintakehitystä ja muutoksia aktiivisemmin, taloustilanteen heikentymisen myötä. Yritykset etsivät säästöjä kaikilta mahdollisilta sektoreilta, joista sähkökäytön suunnittelu ja kysyntäjoustop toteuttaminen on yksi mahdollinen tapa säästötoimien toteuttamiseen. Moni haastatelluista yrityksistä suunnittelee lähitulevaisuudessa vahvempaa panostusta kysyntäjoustop, ensisijaisesti Elspot-markkinoilla.

Muutamassa haastatelluista yrityksistä sähkökäytön suunnitteluun ja sähkönhankintaan on panostettu jo enemmän. Päivänsisäiset vaihtelut sähkönhinnassa ja talvella esiintyvät korkeat hintapiikit markkinahinnassa tunnetaan hyvin. Nämä yritykset pyrkivät hyödyntämään aktiivisesti halvempaa yö- ja päivä sähköä kustannusten minimoimiseksi. Lisäksi Elspot-markkinan hintapiikkejä pyritään ennakoimaan ja ottamaan ne huomioon tuotannon suunnittelussa. Sähkökäyttöä suunnitellaan myös yhä enemmän lämpötilamuutosten ja sääennusteiden perusteella.

Elspot-markkinoilla tehty kysyntäjoustop on kaikkein helpointa toteuttaa yrityksille, minkä takia suurin osa kysyntäjoustop tekevästä yrityksistä osallistuu kysyntäjoustop nimenomaan Elspot-markkinoiden kautta. Muille kysyntäjoustopmarkkinoille osallistuminen vaatii enemmän suunnittelua ja resursseja. Suomessa on useita sähkönhankintaan erikoistuneita palveluntarjoajia kuten Energiakolmio ja Empower. Yritykset suunnittelevat usein yhdessä palveluntarjoajien kanssa järkevää ja kustannustehokasta sähkönhankintaa. Suurin osa haastattelun yrityksistä on ulkoistanut sähkönhankinnan kokonaan tai osaksi palveluntarjoajille.

Yrityshaastatteluiden perusteella Elbas-markkinoilla tehtävä kysyntäjoustop on vielä uusi asia yrityksille. Elspot-markkinoilla kysyntäjoustop tekevät yritykset, tekevät kysyntäjoustop myös useimmiten Elbas-markkinoilla. Tämä johtuu siitä, että sähkönhankintapalvelu on ulkoistettu palveluntarjoajille, joilla on korkea tietotaso sähkönhankinnasta

ja sähkömarkkinoiden toimivuudesta. Sähkönhankinnan ja kysyntäjoustop tekeminen samaan aikaan Elspot- ja Elbas-markkinoilla vaatii todella korkeaa osaamisen tasoa, jota ei löydy useimmiten teollisuusyrityksistä. Elbas-markkinoilla tehtävän kysyntäjoustop potentiaali voisi olla tulevaisuudessa huomattavasti suurempi, jos tämän markkinan kaupankäyntivolyymit kasvavat ja kaupankäyntimekanismi muuttuu automaattisemmaksi.

Kolme haastatteluun osallistuneista yritystä osallistuu tällä hetkellä säätösähkömarkkinoille. Kaksi näistä yrityksistä tarjoaa jo nykytilanteessa kulutuskuormia säätösähkömarkkinoille. Nämä yritykset ovat perehtyneet jo tarkasti sähkönhankinnan ja energiatehokkuuden optimoimiseen kustannussäästöjen saavuttamiseksi. Yleisesti säätösähkömarkkinoille osallistuva kapasiteetti on kuitenkin suurimmaksi osaksi säädettävää voimalaitoskapasiteettia.

Haastatteluun osallistuneiden yritysten tietämys taajuusohjatuista reserveistä oli vähäistä. Taajuusohjatut reservimarkkinat ovat selkeästi uusi asia yrityksille. Vain kaksi haastatteluista yrityksistä on selvittänyt tarkemmin mahdollisuuksia osallistua taajuusohjattuihin reserveihin ja vain yksi yritys osallistuu tällä hetkellä taajuusohjatulle reservimarkkinalle (taajuusohjattu häiriöreservi).

Kolme haastatteluun osallistunutta yritystä osallistuu nopeaan häiriöreserviin. Nämä yritykset ovat perinteisiä suurteollisuuden yrityksiä, joilla on ollut jo pitkään reservisopimus Fingridin kanssa. Nopean häiriöreservin korvaustasot eivät ole kuitenkaan erityisen houkuttelevalla tasolla, minkä lisäksi markkinapaikan 10 MW:n minimivaatimus rajoittaa monen sähkönkulutuskohteen osallistumista markkinoille.

Suurin osa haastatteluun osallistuneista yrityksistä on kiinnostunut selvittämään tarkemmin mitkä sähkönkulutuskohteet voisivat sopia kysyntäjoustop ja kysyntäjoustop saatavat korvaukset eri markkinapaikoilla. Etenkin säätösähkömarkkinat ja taajuusohjatut reservimarkkinat kiinnostivat yrityksiä paljon.

8.5 Potentiaalisimmat kysyntäjoustopkohteet

Yrityshaastatteluissa tunnistetut potentiaalisimmat kysyntäjoustopkohteet on esitetty taulukossa 8. Taulukon kysyntäjoustopkohteet on listattu kohteiden tehokapasiteetin mukaan. Kohteiden joustavuudessa sekä säätöominaisuuksissa on kuitenkin huomattavia

eroja. Kaikkien taulukossa esitettyjen kohteiden kuormaa voidaan tarjota myös Elspot- ja Elbas-markkinoille taulukossa esitettyjen markkinapaikkojen lisäksi. Näiden kysyntäjoustokohteiden lisäksi luvussa 9 tutkitaan yksityiskohtaisesti kasvihuonepuutarhan mahdollisuuksia osallistua kysyntäjoustoon.

Yrityshaastatteluiden suurimman kysyntäjoustopotentialin tunnistettiin olevan elektrolyysiprosesseissa, joita käytetään pääasiassa kemianteollisuudessa. Elektrolyysiprosesseissa käytetään useita kymmeniä megawatteja sähkötehoa, minkä lisäksi näissä tuotantoprosesseissa voidaan hyödyntää välivarastoja, joiden avulla tuotantoa voidaan säädellä. Nämä tulokset ovat yhdenmukaisia VTT:n tekemän kysyntäjoustoselvityksen kanssa (VTT 2005 s. 15). Suuren kysyntäjoustokapasiteetin ja hyvän säädettävyyden takia elektrolyysiprosesseja hyödynnetään jo usein monilla eri kysyntäjoustomarkkinoilla, minkä takia näillä kohteilla ei ole paljon uutta kysyntäjoustopotentialia.

Metallinjalostusteollisuudessa käytettävät uunit ja valssaamot ovat suuria sähkönkulutuskohhteita, joilla on paljon teknistä potentiaalia kysyntäjoustoon. Metallinjalostusteollisuuden alalla on kuitenkin useita kysyntäjoustoon liittyviä haasteita, kuten kappaleessa 8.2 on esitetty. Lisäksi nämä prosessit eivät ole erityisen joustavia, mikä vaikuttaa mahdollisuuksiin osallistua eri kysyntäjoustomarkkinoille. Uunit ja valssaamot voisivat soveltua kuitenkin säätösähkömarkkinoille, jossa riittää että kohteita ohjataan manuaalisesti.

Metsäteollisuuden mekaanisen massan käsittelyprosesseissa käytettäviä hiomakoneita käytetään nykyään jo laajasti kysyntäjoustoon. Yksittäisen hiomakoneen joustokapasiteetti ei ole korkealla tasolla, mutta metsäteollisuuden tehtaissa käytetään useita hiomakoneita, jotka muodostavat yhdessä suuremman kysyntäjoustokohteen. Mekaanisen massan valmistusprosessi soveltuu kysyntäjoustoon hyvin, koska tuotantoa voidaan säädellä välivarastoilla. Nämä tulokset ovat yhdenmukaisia VTT:n tekemän kysyntäjoustoselvityksen kanssa (VTT 2005 s. 11).

Taulukko 8 Yrityshaastattelussa selvitettyjen potentiaalisimpien kysyntäjoustokohteiden ominaisuudet.

Sähkönkulutuskohde	Kohteen joustokuorma	Kohteen toiminta	Tekninen soveltuvuus ja joustavuus	Soveltuva markkinapaikka
1. Elektrolyysiprosessit	• Elektrolyysiprosessi: Useita kymmeniä megawatteja	• Elektrolyysiprosessia käytetään useiden eri kemikaalien valmistukseen.	• Toimintaa voidaan säätää varastotasoilla, mikä mahdollistaa tuotannon joustavuuden.	• Sääätösähkömarkkinat • Nopea häiriöreservi • Tehoreservi
2. Uunit ja valssaamot	• Uuni ja valssaamo: Kymmeniä megawatteja	• Uuneja ja valssaamoja käytetään metallinjalostusteollisuudessa loppu-tuotteen valmistukseen.	• Tuotannon joustaminen haastavaa, vaativan tuotantoprosessin takia.	• Sääätösähkömarkkinat • Tehoreservi
3. Massan käsittely ja jauhinmyllyt	• Hiomakone/ jauhinmylly: 2-4 MW	• Hiomakoneita käytetään metsäteollisuudessa mekaanisen massan valmistukseen. • Jauhinmyllyjä käytetään kaivoksissa louhitun materiaalin murskaamiseen.	• Toimintaa voidaan säätää varastotasoilla, mikä mahdollistaa tuotannon joustavuuden	• Sääätösähkömarkkinat
4. Prosessien lämpöpumput ja kylmävarastot	• Lämpöpumppu: 0,5-1 MW	• Lämpöpumppuja voidaan käyttää prosessien ja kiinteistöjen esilämmityksiin. • Kylmäkoneita käytetään kylmävarastojen viilentämiseen.	• Lämpöpumput ovat erittäin joustavia, jos niitä käytetään yhdessä lauhduttimien ja lämmivesivaraajien kanssa. • Kylmävarastojen kylmäkoneita säädettävyyks korkealla tasolla.	• Taajuusohjattu käyttöreservi • Sääätösähkömarkkinat (aggregaattori-malli)
5. Varavoimakoneet	• Varavoimakone: 0,1-0,4 MW	• Varavoimakoneita käytetään häiriötilanteissa sähköntuotantoon.	• Varavoimakoneet voidaan käynnistää sekunneissa käskyn antamisesta, joten ne sopivat hyvin kysyntäjoustoon.	• Taajuusohjattu häiriöreservi • Sääätösähkömarkkinat
6. Pumput ja kompressorit	• Pumppu: 0,1-0,3 MW • Kompressorit: 0,1-0,4 MW	• Pumppuja käytetään erilaisten vesien pumppaamiseen puhdistamoilla ja vesilaitoksilla. • Kompressoreja käytetään jäteveden puhdistamiseen ja aerobiseen käsittelyyn.	• Pumput ja kompressorit sopivat hyvin kysyntäjoustoon, koska niitä on helppo säätää ja niiden ohjaamiseen käytetty automaatio on yleisesti hyvällä tasolla.	• Taajuusohjattu käyttöreservi
7. Vesitornit	• Vesitornien pumput: 0,05-0,2 MW	• Vesitornien pumppuja käytetään pumpaamaan vettä vesitorneihin.	• Vesitornien pumppausprosessi on joustava, koska vesitornin pinnan korkeutta on mahdollista säätää tiettyjen rajojen sisällä.	• Taajuusohjattu käyttöreservi
8. Ilmanvaihto ja kiinteistöjen lämmitys sekä jäähdytys	• Riippuvainen kiinteistön alasta	• Ilmanvaihtoa käytetään kiinteistöjen ja kauppa-keskuksien ilman laadun parantamiseksi. • Jäähdytys- ja lämmityslaitteita käytetään kiinteistöjen ja kauppa-keskuksien lämpötilan säätelyyn.	• Ilmastointia ja jäähdytystä voidaan säätää sekunti- tai minuuttitasolla.	• Taajuusohjattu käyttöreservi • Sääätösähkömarkkinat (aggregaattori-malli)

Kaivannaisteollisuudessa kiviaineen murskaamiseen käytettäviä jauhinmyllyjä on mahdollista hyödyntää kysyntäjoustossa tässä prosessissa käytettävien välivarastojen ansiosta. Jauhinmyllyn tuotantoa voidaan siis säädellä välivarastoilla, samoin periaattein kun mekaanisen massan valmistuksessa. Jauhinmyllyjen alas- ja ylösajo ei ole kuitenkaan yhtä joustavaa kuin esimerkiksi mekaanisen massan käsittelyprosessin vastaava toimenpide. Jauhinmyllyjä ei hyödynnetä nykytilanteessa kysyntäjoustoon, minkä takia näiden kohteiden mahdollisuuksia osallistua kysyntäjoustoon tulisi tutkia tarkemmin.

Elintarviketeollisuudessa käytettävät kylmälaitokset ja -varastot sekä lämpöpumput ovat hyvin soveltuvia kohteita kysyntäjoustoon niiden erinomaisen säädettävyyden takia. Kylmävarastojen lämpötila voi vaihdella hieman, minkä takia kylmälaitteissa olisi varaa säädölle. Myös lämpöpumput ovat erittäin joustavia kun niitä käytetään yhdessä lauhduttimien ja lämminvesivaraajien kanssa. Tehokapasiteetti näissä kohteissa on kuitenkin suhteellisen pieni, mutta hyvän ja nopean säädettävyyden takia kohteet soveltuvat taajuusohjattuun käyttöreserviin. Kappaleessa 7.3 on esitetty käynnissä olevan kysyntäjouston pilottiprojektin toteutus, jossa hyödynnetään pakastevaraston tehokuormaa taajuusohjatussa käyttöreservissä.

Yrityshaastatteluiden perusteella useissa yrityksissä on varavoimakoneita, joita voitaisiin hyödyntää kysyntäjoustokuormana. Varavoimakoneiden yhteinen tehokapasiteetti ei ole usein riittävän suuri yksittäisessä yrityksessä, jotta kuormaa voitaisiin tarjota kysyntäjoustomarkkinoille. Kappaleessa 7.2 on esitetty miten varavoimakoneita hyödynnetään kysyntäjoustokapasiteettina aggregaattori-mallin avulla käynnissä olevassa pilotiprojektissa.

Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamojen sähkönkulutuskohteilla on potentiaalia kysyntäjoustokapasiteetiksi. Jätevedenpuhdistamojen kompressorien ja pumppujen säädettävyyden täytyy olla korkealla tasolla jätevedenpuhdistusprosessien toteuttamiseksi, minkä takia nämä kohteet voisivat soveltua taajuusohjattuun käyttöreserviin. Näitä kohteita ei hyödynnetä vielä kysyntäjoustoon. Useimmat teollisuustuotantolaitokset Suomessa on suunniteltu kuitenkin ennen taajuusmuuttajien laajaa käyttöönottoa, minkä takia näiden laitosten jätevedenpuhdistamojen säätöominaisuudet eivät ole välttämättä riittäviä taajuusohjattuun käyttöreserviin osallistumiseksi. Käytännössä kompressorien osallistuminen taajuusohjattuun käyttöreserviin vaatii taajuusmuuttajalla teh-

tävää ohjausta. Tämän takia laaja teollisuuden jätevedenpuhdistamojen hyödyntäminen kysyntäjoustopuolella vaatisi tulevaisuuden investointeja pumppuja ja kompressoreja säätävään taajuusmuuttajiin.

Yhdyskuntien ja teollisuuden vesitornien pumppausasemia on mahdollista hyödyntää myös kysyntäjoustopuolella. Vesitornien pumppausprosessi on joustava, koska vesitornien pinnan korkeutta voidaan säätää tiettyjen rajojen sisäpuolelle. Tämä antaa mahdollisuuden jatkuvan säädön toteuttamiseen pumppuille. Pumppuja olisi mahdollista hyödyntää taajuusohjatussa käyttöreservissä. Osallistuminen tähän reserviin vaatii kuitenkin taajuusmuuttajalla tehtävää tehonsäätöä samojen periaatteiden mukaan kuin jätevedenpuhdistamon kompressoreille, jotka on kuvattu edellä. Pumppujen joustokuorma on useimmissa kohteissa alhaisella tasolla etenkin yhdyskuntien pienemmissä vesitorneissa, mikä saattaa rajoittaa mahdollisuuksia kysyntäjoustopuolella osallistumiseen.

Kiinteistöjen ja kauppakeskusten ilmanvaihtoa sekä kiinteistöjen lämmitys- ja jäähdytyslaitteita on myös mahdollista hyödyntää kysyntäjoustopuolella. Kiinteistöissä tarvitaan kuitenkin riittävän suuri kiinteistöala, jotta kysyntäjoustopuolella on kannattavaa tarjota kysyntäjoustopuolelle. Ilmastointia ja jäähdytystä voidaan säätää sekunti- tai minuuttitasolla, minkä vuoksi nämä kohteet voisivat soveltua kysyntäjoustopuoleksi ainakin taajuusohjattuun käyttöreserviin. Jos kysyntäjoustopuolella on riittävän iso, nämä kohteet voisivat soveltua lisäksi taajuusohjattuun häiriöreserviin ja säätösähkömarkkinoille. Näiden kohteiden ohjaus tulisi automatisoida, niin että kohteet reagoisivat sähkön markkinahintaan tai sähköverkon taajuuden muutoksiin.

9.2 Vuosittainen vaihtelu valaistuksessa

Puutarhan valaistuksesta noin kaksi kolmasosaa (alle 2 MW) on pidettävä jatkuvasti päällä talvella. Valot ovat pois päältä talvella kello 16.00–20.00 tai 17.00–21.00. Tämä on kokonaiskulutuksen kannalta paras aika kasvien tarvitsemalle yöajalle. Valaistusta on helppo kontrolloida alkuillasta, minkä lisäksi yöllä tarvitaan lämpöä ja päivällä valoa.

Valaistustehoa lasketaan portaittain keväällä ja vastaavasti nostetaan portaittain syksyllä. Kesällä valaistusta käytetään sään ja kurkun kysynnän mukaan. Kasvien valotusaikaa on mahdollista siirtää tunnilla tai kahdella tunnilla. Kolmasosa valotehosta (alle 1 MW) voidaan tiputtaa tunnin ajaksi ja maksimissaan jopa viideksi tunniksi kaikkina vuoden aikoina. Kesällä puutarha ei kuitenkaan käytä 1 MW:n edestä valotehoa kuin satunnaisesti. Yritykseltä saadun datan perusteella valotustehoa käytetään epäsäännöllisesti huhtikuusta syyskuuhun. Talviaikana valaistusta käytetään tasaisemmin, minkä takia sähkönkulutusta on helpompi arvioida ja ennustaa.

9.3 Valaistuksen soveltuvuus kysyntäjoustop markkinapaikoille

Puutarhan valotustehon kuormaa voidaan tarjota säätösähkömarkkinoille. Osallistuminen on kuitenkin mahdollista vain palveluntarjoajan välityksellä tehtävällä aggregaattori-mallilla, koska kysyntäjoustokuorma ei ole riittävä tälle markkinapaikalle yksinään. Riittävä kuorma saataisiin noin 10 vastaavasta kohteesta ja tulevaisuudessa ehkä vain viidestä kohteesta. Lisäksi valotustehon kuormaa on mahdollista tarjota taajuusohjattuun häiriöreserviin, jonka minimitehovaatimus on 1 MW. Valaisimet voidaan sammuttaa tämän reservin tiukimman vaatimuksen puitteissa eli viidessä sekunnissa käskynsaamisesta.

Puutarhan kysyntäjoustokuorma ei sovellu muille kysyntäjoustop markkinapaikoille pääasiassa riittämättömän joustokapasiteetin takia. Valaistusta voitaisiin tarjota taajuusohjattuun häiriöreserviin, mutta tämän reservin tekniset vaatimukset ovat liian tiukat valaisimien tekniikalle. Kysyntäjousto Elspot- ja Elbas-markkinoilla ei sovellu tällä hetkellä puutarhalle, koska puutarha hankkii sähkön kiinteähintaisella sopimuksella nykytilanteessa. Osallistuminen näille markkinoille vaatisi sähkön hankintaa spot-tyyppisellä sopimuksella, jossa sähkön hinta muodostuisi Elspot- tai Elbas-markkinoiden

perusteella. Puutarha hankkii sähköä nykytilanteessa kiinteällä hinnalla riskien välttämiseksi.

9.4 Säätosähkömarkkinat

9.4.1 Kysyntäjoustopuosta saatavat korvaukset

Säätosähkömarkkinoilla tehtävän kysyntäjoustopuon periaatteet on kuvattu kappaleessa 6.5. Tässä kappaleessa on esitetty puutarhan saamat korvaukset säätosähkömarkkinoilta. Puutarhalle on mielekäästä tarjota tiettyä hintaa säätosähkömarkkinoille jatkuvasti ja vetää tarjous pois tilanteissa, jossa joustopuoa ei voidakaan toteuttaa. Näillä ehdoilla yrityksen ei tarvitse lisätä resursseja säätosähkömarkkinoilla tehtävän kysyntäjoustopuon toteutukseen. Tämän takia laskelmissa on käytetty kolmea eri rajahintaa ylössäädölle: 100 €/MWh, 200 €/MWh ja 500 €/MWh. Laskelmat perustuvat vuosien 2011, 2012 ja 2013 säätosähkömarkkinoiden toteutuneisiin tarjouksiin.

Puutarhan valaistus asettaa tiettyjä reunaehdoja, joiden perusteella on tehty oletukset kuorman tarjoamisesta säätosähkömarkkinoille. Taulukossa 9 esitetään säätosähkömarkkinoilta ylössäädöstä saatavat korvaukset vuosina 2011-2013 seuraavilla oletuksilla:

1. Tarjottu ylössäädöteho on 1 MW.
2. Ylössäädötehoa tarjotaan säätosähkömarkkinoille kaikkina muina vuoden aikoina paitsi kesäaikaan (toukokuu-elokuu).
3. Puutarha ei tarjoa ylössäädötehoa markkinoille kasvien yöaikaan (kello 16.00-20.00).
4. Koska yöaika ei ole mahdollista lyhentää, ei toteutunutta säätöä korvata siirtämällä kulutusta toiseen hetkeen vaan sähkön kokonaiskäyttö vähenee hieman. Edellytyksenä on, ettei säätö toteudu liian usein eikä liian tiheään vuoden aikana. Pitämällä aktiivisuuden hintaraja riittävän korkealla näin ei tapahdu.

Taulukko 9 Vuosina 2011-2013 säätösähkömarkkinoilla toteutuneet tarjoukset, keskiarvohinnat tarjouksille ja vuosittaiset korvaukset, 100 €/MWh, 200 €/MWh ja 500 €/MWh rajahinnoilla.

Tarjouksen rajahinta			
	100 €/MWh	200 €/MWh	500 €/MWh
Toteutuneet tarjoukset (h/vuosi)			
2011	77	22	8
2012	256	86	21
2013	123	32	5
Keskiarvohinta tarjouksille (€/MWh)			
2011	215	427	725
2012	234	440	1008
2013	178	315	800
Saatu korvaus (€/vuosi)			
2011	17 000	9 000	6 000
2012	60 000	38 000	21 000
2013	22 000	10 000	4 000

Säätösähkömarkkinoilla saatavat vuosittaiset korvaukset vaihtelevat tuhansista euroista kymmeniin tuhansiin euroihin. Kun tarjouksen rajahintaa nostetaan, korvaukset laskevat luonnollisesti. Korvaukset vaihtelevat huomattavasti vuosittain. Vuonna 2012 korvaukset olisivat olleet selkeästi suuremmat kuin muina tarkasteltuina vuosina. Kun korvaukset kasvavat, myös joustettavien tuntien määrä kasvaa, mikä tekee kysyntäjoustopuutarhan haastavampaa. 100 €/MWh on todennäköisesti liian alhainen rajahinta puutarhalle, koska puutarha joutuisi siirtämään valotusaikaa jopa satoja tunteja vuodessa. Sen sijaan 200 €/MWh ja 500 €/MWh tai näiden välillä oleva rajahinta voisi sopia hyvin puutarhalle.

Laskelmissa ei ole otettu huomioon säästöjä, joita voitaisiin saada kun sähkönkulutusta siirretään pois tunneilta, joilla säätösähkömarkkinoiden ylössäätösähkö on kallista. Nämä tunnit ovat usein myös kalliita Elspot-markkinoilla. Puutarha ei pysty nykyisessä tilanteessa hyödyntämään näitä säästöjä, koska se hankkii sähkön kiinteähintaisesti.

9.4.2 Kysyntäjoustopuutarhan toteutus ja kustannukset

Puutarhan osallistuminen säätösähkömarkkinoille vaatii yhteistyömallin palveluntarjoajan kanssa, joka aggregoi suuremman kysyntäjoustopuutarhan useasta kohteesta. Toteutuksessa puutarha tarjoaisi palveluntarjoajan kautta tiettyinä aikoina vakiohintaista tarjousta säätösähkömarkkinoille ja vetäisi tarjouksen pois tilanteissa joissa kysyntäjoustopuutarha ei halutakaan tehdä. Yksinkertaisimmillaan kysyntäjoustopuutarhan aktivointi tehtäisiin manuaalisesti palveluntarjoajan välityksellä. Palveluntarjoaja ilmoittaisi puutarhalle tilanteissa, joissa ylössäätötarjous aktivoidaan, minkä jälkeen puutarhasta sammutettai-

siin valot manuaalisesti. Säättösähkömarkkinoilla tehonmuutos tulee toteuttaa 15 minuutin kuluttua tarjouksen aktivoinnista. Manuaalinen toteutus vaatii aina läsnäoloa työntekijältä, joka osaa käyttää säätötietokonetta.

Säättösähkömarkkinoille osallistuminen vaatii yhteistyötä palveluntarjoajan kanssa, jonka palveluista syntyy kustannuksia puutarhalle. Palveluntarjoaja joutuu maksamaan myös säättösähkömarkkinan vuosimaksun, 1200 euroa, säättösähkömarkkinoille osallistumisesta. Lisäksi jos ratkaisua ei automatisoida, osallistuminen vaatii yhden työntekijän jatkuvaa läsnäoloa säätötietokoneen läheisyydessä sinä aikana kun tarjouksia jätetään markkinalle. Käytännössä tämä ei ole mahdollista yöaikaan. 200 €/MWh rajahinnalla säättö tapahtuu kuitenkin lähes poikkeuksetta kello 7.00-24.00 välisenä aikana. Kokonaisuudessaan kustannusten arvioidaan olevan alhaisella tasolla, koska toteutus ei vaadi lisäinvestointeja jos ratkaisua ei automatisoida.

9.5 Taajuusohjattu häiriöreservi

9.5.1 Korvaukset vuosimarkkinoilla

Taajuusohjatuilla häiriöreservimarkkinoilla tehtävän kysyntäjouston periaatteet on kuvattu kappaleessa 6.6. Puutarhan saamat korvaukset taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinoilla on laskettu yritykseltä saadun sähkötehon tuntidatan perusteella. Datan perusteella 1 MW:n (taajuusohjatun häiriöreservin minimitehovaatimus) sähkötehon ylittäviä tunteja oli 5221 kappaletta vuonna 2013. Kesäaikana valotehon käyttöä on kuitenkin haastavaa suunnitella seuraavalle vuorokaudelle, joten reserviin tarjottavia tunteja oletetaan olevan noin 10 prosenttia vähemmän todellisessa tilanteessa. Reserviin tarjottavia tunteja arvioidaan olevan noin 4914 vuodessa.

Taajuusohjatun häiriöreservin korvauslaskelmat perustuvat taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinoiden korvaustasoon, joka on 4,03 €/MW,h vuonna 2014. Taajuusohjatun häiriöreservin korvaustaso nousi 20 % vuodelle 2014 (vuoden 2013 korvaustaso oli 3,36 €/MW,h).

Puutarhan saama korvaus taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinoilla vuonna 2014:

$$1 \text{ MW} * 4,03 \text{ €/MW,h} * 4914 \text{ h} = \mathbf{19\,803 \text{ €/vuosi}}$$

9.5.2 Korvaukset tuntimarkkinoilla

Puutarhan saamat korvaukset taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinoilla on laskettu yritykseltä saadun sähkötehon tuntidatan perusteella. Laskelmissa on käytetty vuoden 2013 markkinahintaa rajahintana, sille tarjotaanko kapasiteettia reservimarkkinalle. Laskelmat perustuvat vuosien 2011, 2012 ja 2013 taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinoiden toteutuneisiin tarjouksiin. Taulukossa 10 on esitetty tuntimarkkinoilta saatavat korvaukset vuosina 2011-2013 seuraavilla oletuksilla:

1. Puutarha tarjoaa 1 MW:n tehoa taajuusohjattuun häiriöreserviin.
2. Puutarha tarjoaa kuormaa reserviin 3,36 €/MW, h rajahinnalla (vuoden 2013 vuosimarkkinahinta).
3. Kaikkia kesän tunteja ei pystytä tarjoamaan reserviin, minkä takia korvaukset laskevat 10 %.

Taulukko 10 Vuosina 2011-2013 taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinoilla toteutuneet tarjoukset, keskiarvohinnat tarjouksille ja vuosittaiset korvaukset 3,36 €/MW, h rajahinnalla.

Tarjouksen rajahinta		3,36 €/MW, h
Toteutuneet tarjoukset (h/vuosi)		
	2011	2007
	2012	1482
	2013	3562
Keskiarvohinta tarjouksille (€/MW, h)		
	2011	47
	2012	21
	2013	31
Arvioitu korvaus (€/vuosi)		
	2011	101 000
	2012	27 000
	2013	84 000
Keskimääräinen vuosikorvaus, vuosina 2011-2013		71 000

Laskelmissa on etsitty kaikki tunnit, joina puutarhan sähköteho ylitti taajuusohjatun häiriöreservin minimivaatimuksen, 1 MW, ja joina taajuusohjatun häiriöreservin hinta tuntimarkkinoilla ylitti vuoden 2013 vuosimarkkinahinnan (3,36 €/MW, h). Korvaukset eri vuosille ja keskimääräinen korvaus vuodessa on laskettu tarjoustuntien ja niille lasketun keskiarvohinnan perusteella. Tuntimarkkinoilta saatavat korvaukset ovat todennäköisiä vain jos reserveihin tarjotaan pientä määrää kapasiteettia, joka pätee puutarhan tapauksessa.

Laskelmien perusteella tuntimarkkinoilta saatavat korvaukset ovat huomattavasti korkeammalla tasolla kuin vuosimarkkinoilla. Tuntimarkkinoiden korvaustasot vaihtelevat paljon vuosittain. Puutarha olisi saanut vuonna 2011 yli 100 000 euron korvaukset taajuusohjattuun häiriöreserviin osallistumisesta. Vuoden 2012 korvaustaso oli tuntimarkkinoilla tarkastelluista vuosista alhaisin, mutta silti lähes 8000 euroa suurempi kuin nykyinen vuosimarkkinakorvaus.

9.5.3 Kysyntäjouston toteutus ja kustannukset

Taajuusohjattuun häiriöreserviin tarjottava kuorma on ilmoitettava edellisenä päivänä kello 18.00 mennessä Fingridille. Suunnitelmat tulee toimittaa Fingridille EDI-sanomana käyttäen DELFOR-sanomamuotoa. EDI-sanomat ovat sähkömarkkinoiden tiedonvaihdossa käytettäviä sähköisiä viestejä. Puutarhalla ei ole mahdollisuutta lähettää tietoja edellisten vaatimusten mukaan, joten tietojen toimittaminen Fingridille olisi tehtävä todennäköisimmin palveluntarjoajan välityksellä.

Jos puutarha tarjoaa reserviin jatkuvasti yhtä suurta kysyntäjoustokuormaa, samaan kelloon aikaan, tarjouksen jättäminen on helppoa. Mikäli tarjousta halutaan muuttaa, tämä vaatii enemmän suunnittelua ja tiedonvaihtoa puutarhan, palveluntarjoajan ja Fingridin välillä. Taajuusohjattuun häiriöreserviin tarjottavan kuorman aktivoitumisvaade on 5 sekuntia tai 30 sekuntia riippuen sähköverkon taajuuden tasosta. Puutarha pystyy sammuttamaan valot vaadituissa aikamääreissä. Valaisimien ylikuumenemisen välttämiseksi valaisimien on oltava pois päältä vähintään puoli tuntia sammuttamisen jälkeen.

Toteutuksen automatisointi vaatii järjestelmää, joka sisältää taajuusreleen ja erillisen ohjelmoitua logiikkaa sisältävän ohjauskomponentin. Toteutuksessa taajuusrele tunnistaa kun taajuus laskee alle 49,7 tai 49,5 Hz:n ja lähettää signaalin ohjauskomponentille. Tämä jälkeen ohjauskomponentti kytkee pois päältä 1 MW:n valotehoa, jos kuormaa on tarjottu reserviin kyseisellä tunnilla. Ohjauskomponentti tekee ohjaukset puutarhan sähkökeskuksen kautta.

Toteutukseen vaadittavan automaatiojärjestelmän investointikustannukset on arvioitu Pöyryn asiantuntijoiden toimesta. Automaatiojärjestelmän investoinnit koostuvat seuraavista osista:

- 1) Taajuusrele: noin 2 000 euroa
- 2) Ohjelmoidun logiikan sisältävä komponentti: noin 2000 euroa
- 3) Toteutukseen liittyvä työ (kaapeloinnit jne.): noin 2000-4000 euroa
- 4) Muut kustannukset (Palveluntarjoajan osuus ja muut järjestelyt): alhaiset

Kokonaiskustannusten arvioidaan olevan noin 10 000 euron tasolla tai alle tämän. Lisäksi palveluntarjoajalle tulee maksaa vuosittain tiedonsiirrosta aiheutuvat kustannukset. Näiden kustannusten arvioidaan olevan alhaisella tasolla.

9.6 Johtopäätökset

Korvauslaskelmien perusteella taajuusohjatuista häiriöreservistä saatavat korvaukset puutarhalle ovat huomattavasti suurempia kuin säätösähkömarkkinoilta saatavat korvaukset. Lisäksi investoinnit taajuusohjattuun häiriöreserviin ovat suhteellisen alhaiset, joten kysyntäjoustop toteuttaminen tällä markkinapaikalla vaikuttaa kannattavalta. Takaisinmaksuaika taajuusohjatun häiriöreservin vuosimarkkinoilla on noin puoli vuotta ja tuntimarkkinoilla noin kaksi kuukautta.

Puutarhalle lasketut korvaukset taajuusohjatuilla häiriöreservimarkkinoilla ovat yhdenmukaisia kappaleessa 6.6.3 laskettujen korvauksien kanssa. Puutarhalle tehty analyysi vahvistaa päätelmiä, joiden mukaan taajuusohjatun häiriöreservin vuosi- ja tuntimarkkinat ovat epätasapainossa. Tulevaisuuden hintakehitystä on haastavaa arvioida näillä markkinoilla. Vuosimarkkinan korvaustaso on kuitenkin noussut tasaisesti viime vuosina.

Taajuusohjattuun häiriöreserviin liittyviä kuorman aktivoitumisia on ollut viime vuosina noin 5-10 kertaa vuodessa. Puutarhassa viljeltyjen kurkkujen ei pitäisi häiriintyä, jos valotehoa vähennetään noin 1 MW 5-10 kertaa vuodessa. Edelliset tekijät huomioiden, kysyntäjousto vaikuttaa mahdolliselta ja kannattavalta taajuusohjatuilla häiriöreservimarkkinoilla.

Puutarha voisi toteuttaa jatkossa mahdollisesti kysyntäjoustoja myös säätösähkömarkkinoilla. Säätösähkömarkkinoille osallistuminen ei vaatisi lainkaan investointikustannuksia. Säätösähkömarkkinoille osallistuminen vaatisi yhteistyösopimusta palveluntarjoajan

kanssa, joka aggregoisi useamman kohteen kysyntäjoustokuormat isommaksi kokonaisuudeksi.

Case-tutkimuksen puutarha harkitsee jatkossa osallistumista Fingridin kysyntäjoustopilottiprojektiin.

10 Yhteenveto ja johtopäätökset

Kysyntäjouaston tarve Suomen sähkömarkkinoilla tulee kasvamaan lähivuosina joustamattoman tuotannon, kuten tuulivoiman ja ydinvoiman lisääntyessä. Kasvava tuulivoimakapasiteetti nostaa lisäksi säätövoiman tarvetta, koska tuulivoiman tuotanto on epä säännöllistä, eikä sitä voida ennustaa tarkasti. Nykytilanteessa säätövoimana käytettävät tuotantolaitokset ovat muuttumassa yhä kannattamattommiksi nykyisen markkinatilanteen ja kustannuksia lisäävän IE-direktiivin voimaan astumisen myötä. Suomen teollisuus vastaa lähes puolesta koko Suomen sähkönkulutuksesta, minkä takia teollisuudessa on paljon potentiaalia kysyntäjouastoon. Teollisuuden kysyntäjouastoon osallistumisen lisääminen toisi markkinoille lisää kysyntäjouastokapasiteettia, jota voidaan hyödyntää säätövoimana ja kulutushuippujen leikkaamisessa.

Tässä diplomityössä tehdyissä yrityshaastatteluissa löydettiin kysyntäjouastossa hyödyntämättömiä sähkönkulutuskohteita monilta eri teollisuuden aloilta. Yrityshaastatteluiden perusteella Suomen sähkömarkkinoilla on vielä paljon hyödyntämätöntä kysyntäjouastopotentiaalia, jota voitaisiin hyödyntää sähkömarkkinoiden tehokkuuden parantamiseen jatkossa. Tässä työssä tehdyn tutkimuksen perusteella suurin sähkötehona mitattu potentiaali kysyntäjouaston toteuttamiseen on perinteisillä metsä-, metallinjalostus- ja kemiateollisuuden aloilla. Näiden teollisuuden alojen yritykset ovat selvittäneet jo usein kysyntäjouastomahdollisuuksien hyödyntämistä kaikkein energiasintensivisimpien prosessien osalta. Yrityshaastatteluissa tunnistettiin kuitenkin uutta kysyntäjouastopotentiaalia näiden alojen yritysten sivuprosesseista.

Yrityshaastatteluissa löydettiin nykyisessä sähkömarkkinatilanteessa hyödyntämätöntä kysyntäjouastopotentiaalia useilta uusilta aloilta. Kaivannais-, kone- ja metallituote-, ja elintarviketeollisuudessa sekä kiinteistöyhtiöissä, vedenkäsittelyprosesseissa ja kasvihuoneissa tunnistettiin monia kysyntäjouastoon soveltuvia sähkönkulutuskohteita. Uusia sähkönkulutuskohteita, joita voitaisiin hyödyntää kysyntäjouastossa, ovat muun muassa kaivannaisteollisuuden jauhinmyllyt, elintarviketeollisuuden lämpöpumput ja kylmävarastot, jätevedenpuhdistamojen pumput ja kompressorit, erilaiset vesitornit sekä kiinteistöjen ilmanvaihtojärjestelmät. Lisäksi eri teollisuuden aloilla käytettäviä varavoimakoneita voitaisiin hyödyntää jatkossa kysyntäjouastoon.

Yrityshaastatteluissa tunnistettiin useita tekijöitä, jotka rajoittavat teollisuuden yritysten osallistumista kysyntäjouksoon. Teollisuuden tuotantoprosessit sekä muiden alojen avainasiat, kuten kauppakeskusten asiakastyytyväisyys, asettavat sähkönkulutuskohteille rajoituksia kysyntäjouksoon osallistumiselle. Kysyntäjoukko on yleisesti kuitenkin mahdollista kaikilla työssä tehtyjen yrityshaastatteluiden aloilla sillä ehdolla, että kysyntäjoukolle on määritetty tarkat rajaehdot.

Kysyntäjoukon markkinapaikkojen vaatimukset kysyntäjoukokuorman teholle sekä aktivoitumisajalle rajoittavat myös sähkönkulutuskohteiden osallistumista kysyntäjouksoon. Etenkin taajuusohjattuun käyttöreserviin osallistuminen on haasteellista reservien tiukkojen teknisten vaatimusten takia. Myös taajuusohjatun häiriöreservin vaatimus 100 % kuorman tiputtamiseen viidessä sekunnissa, tekee osallistumisen tähän reserviin haasteelliseksi monille kysyntäjoukkohteille. Kysyntäjoukon arvioidaan olevan helppointa toteuttaa säätösähkömarkkinoilla, jos kuormaa voidaan tarjota markkinalle aggregaattorin kautta. Säätösähkömarkkinan vaatimukset ovat riittävän kevyet, minkä takia useampi sähkönkulutuskohde soveltuu näille markkinoille.

Yrityksillä ei ole myöskään välttämättä resursseja selvittää kysyntäjouksoon osallistumiseen vaadittavia toimia perusteellisesti. Kysyntäjoukon toteuttaminen vaatii yrityksiltä suunnittelua ja aikaa, eivätkä kysyntäjoukosta saatavat tuotot ole aina riittävän suuria, jotta asiaa haluttaisiin priorisoida. Kysyntäjoukosta saatavat korvaustasot tulevat kuitenkin nousemaan todennäköisesti tulevaisuudessa, koska sähkön markkinahinnan volatiliiteetti on kasvamassa epäsäännöllisen tuotantokapasiteetin määrän lisääntyessä.

Tässä työssä tehdyn analyysin perusteella kysyntäjoukko voi olla kannattavaa kaikilla analysoiduilla markkinapaikoilla. Nykytilanteessa kysyntäjoukosta saatavat korvaukset vaihtelevat merkittävästi kysyntäjoukon markkinapaikasta riippuen. Taajuusohjattujen reservien korvaustasot ovat suuremmat kuin säätösähkömarkkinoilla, mutta samalla tekniset vaatimukset näille reserveille ovat tiukemmalla tasolla kuin säätösähkömarkkinoilla. Taajuusohjattujen reservien vuosimarkkinoiden ja tuntimarkkinoiden korvauksissa on suuria eroja. Keskimääräinen teho tuntimarkkinoiden käyttötunneille on yleisesti matalalla tasolla, minkä takia tuntimarkkinoille tarjottavaan kysyntäjouksoon liittyy riski, etenkin jos markkinalle tarjotaan suurta kapasiteettia. Taajuusohjattun häiriöreservin

tuntimarkkinoilta saatavat korvaukset ovat huomattavasti suurempia kuin vuosimarkkinoilta saatavat korvaukset, minkä takia nämä markkinat ovat epätasapainossa.

Tässä diplomityössä tehdyssä case-tutkimuksessa osoitettiin, että kysyntäjousto on kannattavaa ja mahdollista toteuttaa työssä tarkastellussa kasvihuonepuutarhassa. Case-tutkimuksen kasvihuonepuutarhan olisi mahdollista saada kysyntäjoustopotentialia kymmenien tuhansien eurojen korvaukset vuosittain. Kasvihuonepuutarha harkitsee jatkossa osallistumista Fingridin kysyntäjoustopilottiprojektiin. Pilottiprojektin myötä case-tutkimuksen kasvihuoneelle suunniteltu kysyntäjoustopotentialitoteutus olisi mahdollista monistaa myös muihin kasvihuoneisiin jatkossa.

Tämän työn yrityshaastatteluissa tunnistettujen sähkönkulutuskohteiden osallistumista kysyntäjoustopotentialiin tulisi selvittää tarkemmin jatkossa. Suomen teollisuudessa on vielä paljon hyödyntämätöntä kysyntäjoustopotentialia, jota voitaisiin tarjota uusille kysyntäjoustopotentialikohteille, kuten taajuusohjattuihin reserveihin. Suomen sähkömarkkinoille muodostumassa oleva uusi toimijatyypin (aggregaattori) tulee mahdollistamaan pienempien sähkönkulutuskohteiden hyödyntämisen kysyntäjoustopotentialiin. Lisäksi säätösähkömarkkinoiden tarjoutumisen tehokkuuden parantaminen 5 MW:iin mahdollistaisi pienempien sähkönkulutuskohteiden osallistumisen kysyntäjoustopotentialiin ja lisäisi markkinoiden kokonaisvolyymiä.

Fingridin vuoden 2013 lopussa käynnistämä hanke, jossa tuetaan kysyntäjoustopotentialin pilotteja, on tärkeä askel uusien sähkönkulutuskohteiden hyödyntämiseksi kysyntäjoustopotentialissa. Tällä hetkellä Fingridillä on käynnissä kaksi pilotteja, joissa tutkitaan myös tässä työssä tunnistettujen sähkönkulutuskohteiden mahdollisuuksia osallistua kysyntäjoustopotentialiin. Toisessa pilotteissa selvitetään varavoimakoneiden hyödyntämistä kysyntäjoustopotentialissa ja toisessa pilotteissa tutkitaan pakasteveraston mahdollisuutta osallistua taajuusohjattuun käyttöreserviin.

Kysyntäjoustopotentialin lisääminen sähkömarkkinoilla vaatii sähkömarkkinatoimijoiden ja teollisuusyritysten kysyntäjoustopotentialitietoisuuden lisäämistä. Yleisellä tasolla sähkökäyttäjät ovat tietoisia kysyntäjoustopotentialista mutta yksityiskohtaisempaa tietoa ja selkeitä esimerkkejä käytännön toteutuksesta tulisi olla saatavilla enemmän. Lisäksi kysyntä-

jouston markkinapaikkojen vaatimusten uudelleen arvioiminen voisi lisätä uuden kysyntäjoustokapasiteetin synnyttämistä Suomen sähkömarkkinoilla.

Lähdeluettelo

ÅF-Consult Oy 2012. Mistä lisäjoustoa sähköjärjestelmään? [Raportti]. Julkaistu 28.11.2012. [Viitattu 20.12.2013]. Saatavilla:

http://energia.fi/sites/default/files/mista_lisajoustoa_sahkojarjestelmaan_loppuraportti_28_11_2012.pdf

Elinkeinoelämän keskusliitto EK ry 2009a. Kysyntäjouaston vaikutus yrityksen sähkönkulutukseen. [Internetsivut]. Julkaistu 16.01.2009. [Viitattu 31.12.2013]. Saatavilla:

http://ek2.ek.fi/yritysten_energiaopas/fi/kuvat/kysyntajousto.pdf

Elinkeinoelämän keskusliitto EK ry 2009b. Sähköpörssin fyysiset markkinat. [Internetsivut]. Julkaistu 16.01.2009. [Viitattu 31.12.2013]. Saatavilla:

http://ek2.ek.fi/yritysten_energiaopas/fi/sahkon_hankinta/sahkoporssin_fyysiset_markkinat.php

Energiakolmio 2014a. Tietoa energiakolmiosta. [Internetsivut]. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla: <http://www.energiakolmio.fi/fi/yritys/tietoa-energiakolmiosta>

Energiakolmio 2014b. Kustannussäästöjä kysyntäjoustolla. [Internetsivut]. Julkaistu 16.04.2014. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla:

<http://www.energiakolmio.fi/fi/blogi/kustannussaastoja-kysyntajoustolla/>

Energiamarkkinavirasto 2013a. Maakaasun hintatilastot. [Internetsivut]. Julkaistu 12/2013. [Viitattu 20.12.2013]. Saatavilla:

<http://www.energiavirasto.fi/maakaasun-hintatilastot>

Energiamarkkinavirasto 2013b. Tarjouspyyntö – Tehoreservikapasiteetin hankinta ajalle 1.12.2013-28.2.2014 ja 1.12.2014-28.2.2015 – Sähkönkulutuksen joustoon kykenevät kohteet. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/647+451+2013+Tarjouspyynto_Kulutusjousto.pdf/8d81807b-e219-451c-9e91-303169a5658a

Energiateollisuus Ry 2013a. Energiateollisuuden näkemykset tehoreservin tarpeen määrittämisestä. [Lausunto]. Julkaistu 24.1.2013. [Viitattu 20.12.2013]. Saatavilla: http://energia.fi/sites/default/files/emv_et_tehoreservit_20130124_lopullinen.pdf

Energiateollisuus Ry 2013b. Päivän sisäinen sähkökauppa kasvanut tuntuvasti pörssissä. [Uutinen]. Julkaistu 29.11.2013. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: <http://energia.fi/ajankohtaista/uutiset/paivan-sisainen-sahkokauppa-kasvanut-tuntuvasti-porssissa>

Energiateollisuus Ry 2014a. Energiavuosi 2013 - Sähkö. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu 21.01.2014. [Viitattu 18.4.2014]. Saatavilla: <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2013-s-hk>

Energiavirasto 2014a. Tehoreservijärjestelmä. [Internetsivut]. [Viitattu 12.11.2014]. Saatavilla: <http://www.energiavirasto.fi/fi/tehoreservijarjestelma>

Energy Pool 2013. Case study: Major global pulp & paper producer works with Energy Pool to monetize its demand response capacity. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu 1/2014. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla: http://www.energy-pool.eu/files/2013/06/201212_TS_Case-Study-Pulp-Paper-Mill.pdf

EnerNOC 2014a. Demand Response. [Internetsivut]. [Viitattu 12.11.2014]. Saatavilla: <http://www.enernoc.com/for-utilities/demand-response>

EnerNOC 2014b. Case study: Guadalupe Cooling. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu vuonna 2014. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla: http://www.enernoc.com//themes/bluemasters/images/case_studies/pdfs/cs_foodstorage_guadalupecooling_2014.pdf

EnerNOC 2014c. Case study: U.S. Silica. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu vuonna 2014. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla: http://www.enernoc.com//themes/bluemasters/images/case_studies/pdfs/cs_mining_ussilica_2014.pdf

EnerNOC 2014d. Case study: Doral. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu vuonna 2014. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla:

http://www.enernoc.com//themes/bluemasters/images/case_studies/pdfs/cs_mining_doral_2014.pdf

ENTSO-E 2013. Supporting Document for the Network Code on Load-Frequency Control and Reserves. [Raportti]. Julkaistu 28.6.2013. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

http://networkcodes.entsoe.eu/wp-content/uploads/2013/08/130628-NC_LFCR-Supporting_Document-Issue1.pdf

Euroopan komissio 2013. Incorporating demand side flexibility, in particular demand response, in electricity markets. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu 5.11.2013. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla:

http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/doc/com_2013_public_intervention_swd07_en.pdf

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU. Directive of 24.11.2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Official Journal of the European Union, L334/17, 17.12.2010. Saatavilla:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ%3AL%3A2010%3A334%3A0017%3A0119%3Aen%3APDF>

Fennovoima Oy 2014. Periaatepäätös. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fennovoima.fi/fennovoima/materiaalia/periaatepaatos>

Fingrid Oyj 2012a. Kulutus ja tuotanto. [Internetsivut]. [Viitattu 25.12.2013]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2012b. Kantaverkon kansallinen 10-vuotissuunnitelma. [Raportti]. Julkaistu 12/2012 [Viitattu 30.12.2013]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/voimajohtoliitteet/Kantaverkon_kansallinen_10-vuotissuunnitelma_12-2012.pdf

Fingrid Oyj 2013a. Sähköjärjestelmän toiminta talven 2012 - 2013 huippukulutustilanteessa. [Raportti]. Julkaistu 12.4.2013. [Viitattu 20.12.2013]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/S%C3%A4hk%C3%B6n%20toimitusvarmuus/2013/S%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20toiminta%20talven%202012-2013%20kulutushuipun%20aikana_final.pdf

Fingrid Oyj 2013b. Uusi reservilaji, automaattinen taajuudenhallintareservi otettu testi-käyttöön. [Uutinen]. Julkaistu 11.2.2013. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/tiedotteet/Sivut%2FUusi-reservilaji,-automaattinen-taajuudenhallintareservi-otettu-testik%C3%A4ytt%C3%B6%C3%B6n.aspx>

Fingrid Oyj 2013c. Hankintapäätös taajuusohjatuista käyttö- ja häiriöreservistä vuodelle 2014. [Uutinen]. Julkaistu 21.11.2013. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/tiedotteet/Sivut%2FHankintap%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s-taajuusohjatuista-k%C3%A4ytt%C3%B6--ja-h%C3%A4iri%C3%B6reservist%C3%A4-vuodelle-2014.aspx>

Fingrid Oyj 2013d. Markkinatoimikunnan kokous 3/2013. [Muistio] Julkaistu 16.10.2013. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Markkinatoimikunta/2013/Markkinatoimikunnan%20kokous%203-13%20muistio%20final.pdf>

Fingrid Oyj 2013e. Kysyntäjoustop T&K-pilottiprojekteihin osallistumisen periaatteet. [Verkkojulkaisu]. Julkaistu 31.10.2013. [Viitattu 12.5.2014]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/markkinaliitteet/S%C3%A4hk%C3%B6n%20kulutus%20ja%20tuotanto/Kysyntajoustop_pilottiprojekteihin_osallistumisen_periaatteet.pdf

Fingrid Oyj 2014a. Kulutuksen ja tuotannon tasapainon eli taajuuden ylläpito. [Internet-sivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4nhallinta/kulutuksen%20ja%20tuotannon%20tasapainon%20yll%C3%A4pito/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014b. Taajuuden ylläpito sähköjärjestelmässä. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCTaajuuden_yllapito.aspx

Fingrid Oyj 2014c. Säätosähkömarkkinat. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservien_hankinta/saatosahkomarkkinat/Sivut/default.aspx

Fingrid Oyj 2014d. Reservit. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014e. Reservien hankinta. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservien_hankinta/Sivut/default.aspx

Fingrid Oyj 2014f. Reservilajit. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservilajit/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014g. Järjestelmäreservit. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/j%C3%A4rjestelm%C3%A4reservit/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014h. Nopea häiriöreservi. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/reservien_hankinta/Nopea_hairioreservi/Sivut/default.aspx

Fingrid Oyj 2014i. Tehoreservi. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/reservit/tehoreservit/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014j. Tasepalvelu. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/tasepalvelut/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014k. Taseselvitys. [Internetsivut]. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/tasepalvelut/taseselvitys/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014l. Toiminta tehopulassa. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/voimajarjestelman-tila/Sivut/Toiminta-tehopulassa.aspx>

Fingrid Oyj 2014m. Kysyntäjouaston markkinapaikat. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/Kysyntajousto/Markkinapaikat/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014n. Kysyntäjousto. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/Kysyntajousto/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014o. Säättösähkön määrä. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/saatosahko/Sivut/saatosahkon-maara.aspx>

Fingrid Oyj 2014p. Säättösähkön hinta. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/saatosahko/Sivut/S%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%C3%A4hk%C3%B6n-hinta.aspx>

Fingrid Oyj 2014q. Toteutuneet tuntikaupat: taajuusohjattu käyttöreservi. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/taajuusohjatutreservit/toteutuneettuntikaupat/Sivut/K%C3%A4ytt%C3%B6reservi.aspx>

Fingrid Oyj 2014r. Toteutuneet tuntikaupat: taajuusohjattu häiriöreservi. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/taajuusohjatutreservit/toteutuneettuntikaupat/Sivut/H%C3%A4iri%C3%B6reservi.aspx>

Fingrid Oyj 2014s. Tasemallin kuvaus. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/tasepalvelut/tasemallinkuvaus/Sivut/default.aspx>

Fingrid Oyj 2014t. EstLink 2 - toinen tasasähköyhteys Suomen ja Viron välillä. [Uutinen]. Julkaistu 6.2.2014. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: <http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/hankkeet/rajayhteydet/estlink2toinentasasahkoyhteys/Sivut/default.aspx>

Fortum Oyj 2013. Fortum lopettaa sähköntuotannon Inkoon hiilivoimalaitoksella [Uutinen]. Julkaistu 13.8.2013. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavilla: <https://www.fortum.fi/fi/media/pages/fortum-lopettaa-sahkontuotannon-inkoon-hiilivoimalaitoksella.aspx>

Fortum Oyj 2014. Tietoa aurinkosähköstä. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/aurinkoenergiaratkaisut/aurinkopaneeli/info/pages/default.aspx>

Hetkellisen reservin, taajuusohjatun ja nopean häiriöreservin ylläpitosopimus 2004. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: <http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2013/Irtikytett%C3%A4vien%20kuormien%20yll%C3%A4pitosopimus.pdf>

Jäppinen, J 2013. Voimajärjestelmän tehotasapainon ylläpito - Vaelluskalafoorumi. [Esitys]. Julkaistu 9.10.2013. [Viitattu 12.1.2014]. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B3B544D80-D0F7-492A-BC4A-DF59929F0C91%7D/93203>

Jäppinen, J 2014. Käytön kehityspäällikkö. Fingrid Oyj. Sähköpostikeskustelu 3.3.2014.

Kemijoki Oy 2014. Säätosähkö. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: http://www.kemijoki.fi/kejo-fi/sp_Content7E5C3&template=print

Laki 2010/1396. Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 30.12.2010. [Viitattu 21.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101396>

Lintunen, P 2008. Raportointi ja taseselvitys 1.1.2009 alkaen, Tasepalveluseminaari. [Esitys]. Julkaistu 19.8.2008. [Viitattu 30.5.2014]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Seminaarit/Tasevastaavaseminaari/2008/3_raportointi_ja_taseselvitys_1_1_2009_alkaen_pasi_lintunen.pdf

Makkonen, J 2013. Teollisuuspäästödirektiivin toimeenpanon vaikutukset energiateollisuuteen. [Esitys]. Julkaistu 18.3.2013. [Viitattu 8.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.lamk.fi/cleantech/koulutukset/Documents/Lains%C3%A4%C3%A4d%C3%A4nt%C3%B6koulutus%20PP%20esitys%20Jukka%20Makkonen.pdf>

Matilainen, J 2009. Tuulivoiman vaikutukset voimajärjestelmään - case 2000 MW. [Esitys]. Julkaistu 9.9.2008. [Viitattu 2.1.2014]. Saatavilla:

http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Seminaarit/Kantaverkkop%C3%A4iv%C3%A4/2008/6_verkkopaiva_jussi_matilainen.pdf

Motiva Oy 2013. Syöttötariffi. [Internetsivut]. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavilla:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energian_tuet/syottotariffi

Nasdaq OMX Commodities 2014. European Power Market Derivatives. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.nasdaqomx.com/transactions/markets/commodities/markets/products/power>

Nord Pool Spot 2014a. 2013 another record year for Nord Pool Spot. [Uutinen]. Julkaistu 16.1.2014. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.nordpoolspot.com/Message-center-container/Exchange-list/2014/01/No-22014---2013-another-record-year-for-Nord-Pool-Spot/>

Nord Pool Spot 2014b. Historical Market Data. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Downloads/Historical-Data-Download1/Data-Download-Page/>

Nord Pool Spot 2014c. Elspot volumes. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Volumes/ALL1/Hourly11/>

Nord Pool Spot 2014d. Elbas market statistics. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: https://elbas.nordpoolspot.com/elex/wl/market_statistics.jsp

Oy KWH Freeze Ab 2014. Toiminta. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: <http://www.kwhfreeze.fi/toiminta>

Partanen, J 2013. Sähkömarkkinat kurssin opintomateriaalit, Sähköpörssi. 2005. EL-EX Nord Pool. [Viitattu 6.1.2014]. Saatavilla: <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0400/luennot>

Piipponen, J 2013. Säättösähkömarkkinat kehittyä mutta miten? [Esitys]. Julkaistu 21.11.2013. [Viitattu 15.5.2014]. Saatavilla: http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Tasevastaavaseminaarit/21.11.2013/04_S%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%C3%A4hk%C3%B6markkinat%20kehitty.pdf

Pohjolan Voima Oy 2012. Pohjolan Voiman sidosryhmälehti – Teemana säättösähkö. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu 1/2012. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavilla: http://www.pohjolanvoima.fi/yritys/media/uutiset/126/pohjolan_voima_lehti_1_2012_on_ilmestynyt

Pohjolan Voima Oy 2013. Mussalon voimalaitoksen tuotanto lopetetaan - sähköntuotantokapasiteettia poistuu ennenaikaisesti. [Uutinen]. Julkaistu 16.1.2013. [Viitattu 20.12.2013]. Saatavilla: http://www.pohjolanvoima.fi/yritys/media/uutiset/162/mussalon_voimalaitoksen_tuotanto_lopetetaan_-_sahkontuotantokapasiteettia_poistuu_ennenaikaisesti

Pöyry Management Consulting Oy 2012. Gasum Oy - Energiantuotannon lämmön veromuutosten vaikutusten seuranta case-kohteissa. [Muistio]. Julkaistu 16.1.2012. [Viitattu 25.12.2013]. Saatavilla:

http://www.gasum.fi/yritysinfo/media/uutiset/Documents/Energiaveromuistio%20Q210_002B.pdf

Reservinä toimivien irtikytkettävien kuormien maksujen tarkistus 2012. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 12.6.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2013/Kuormien%20maksujen%20tarkistus%202012.pdf>

SEAM Group Oy 2014. Mikä SEAM. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.seam-group.com/mikaseam>

Smart Energy Demand Coalition 2013. A demand response action plan for Europe. [Raportti]. Julkaistu 06/2013. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla:

<http://sedc-coalition.eu/wp-content/uploads/2013/06/SEDC-DR-FINAL-.pdf>

Smart Energy Demand Coalition 2014. Mapping demand response in Europe today. [Raportti]. Julkaistu 04/2014. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla:

http://sedc-coalition.eu/wp-content/uploads/2014/04/SEDC-Mapping_DR_In_Europe-2014-041111.pdf

Suomen ElFi Oy 2014. Sähkön hinta. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.elfi.fi/index.php?section=15>

Suomen tulli 2010. Maakaasun verotus. [Esitys]. Julkaistu 17.11.2010. [Viitattu 20.12.2013]. Saatavilla:

<http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/Antti%20Saastamoinen%2017112010%20Tulli.pdf>

Säätösähkömarkkinasopimus 2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2013/S%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%C3%A4hk%C3%B6markkinasopimus%202014.pdf>

Taajuusohjattujen reservien hankintaehdot vuodelle 2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2013/Taajuusohjattujen%20reservien%20yll%C3%A4pito%20%20Hankintaehdot%20vuodelle%202014.pdf>

Taajuusohjattujen reservien ylläpidon sovellusohje 2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2013/Taajuusohjattujen%20reservien%20yll%C3%A4pidon%20sovellusohje%202014.pdf>

Taajuusohjattujen käyttö- ja häiriöreservin vuosisopimus 2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Reservit/2013/Taajuusohjattujen%20reservien%20vuosisopimus%202014.pdf>

Tasepalvelun sovellusohje 2013, Liite I. [Verkkodokumentti]. Päivitetty 1.10.2013. [Viitattu 12.6.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Tasepalvelun%20liitteet/Tasepalvelusopimukset/Tasepalvelusopimuksen%202013%20liite%201%20sovellusohje.pdf>

Tasepalvelun sovellusohje 2013, Liite II. [Verkkodokumentti]. Päivitetty 1.1.2013. [Viitattu 12.6.2014]. Saatavilla:

<http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Tasepalvelun%20liitteet/Tasepalvelusopimukset/Tasepalvelusopimuksen%202012%20liite%202%20maksukomponentit%20etc1%201.pdf>

Teollisuuden Voima Oyj 2013. Voimalaitokset. [Internetsivut]. [Viitattu 8.5.2014]. Saatavilla: <http://www.tvo.fi/voimalaitokset>

Tilastokeskus 2012. Energiatilasto 2012 - Teollisuuden sähkön kulutus toimialoittain. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu 13.12.2012. [Viitattu 18.4.2014]. Saatavilla: http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2012/html/suom0005.htm

Tilastokeskus 2014. Kansantalous. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2014]. Saatavilla: http://www.tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_kansantalous.html

Työ- ja elinkeinoministeriö 2008a. Sähkön kysyntäjouaston edistäminen. [Raportti]. Julkaistu 14.3.2008. [Viitattu 31.12.2013]. Saatavilla: http://www.vtt.fi/liitetiedostot/muut/ET_Sahkon_kysyntajouaston_edistaminen.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö 2008b. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. [Raportti]. Julkaistu 6.11.2008. [Viitattu 2.1.2014]. Saatavilla: http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö 2010. Sähkötötehotyöryhmän loppuraportti. [Raportti]. Julkaistu 31.3.2010. [Viitattu 2.5.2013]. Saatavilla: http://www.tem.fi/files/26800/Sahkotehotyoryhman_loppuraportti_31.3._2010.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö 2012. Tuulivoimaa edistämään. Lauri Tarastin selvitys. [Raportti]. Julkaistu 13.4.2012. [Viitattu 13.5.2013]. Saatavilla: http://www.tem.fi/files/36526/TEMjul21_2012_web_08042013.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö 2013a. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle VNS 2/2013 vp. ISBN 978-952-227-749-7. Saatavilla: http://www.tem.fi/files/36221/TEMjul_8_2013_web_20032013.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö 2013b. EU:n energiayhteistyö. [Internetsivut]. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavilla: http://www.tem.fi/energia/eu_n_energiayhteistyö

Työ- ja elinkeinoministeriö 2014. Sähköverkkotoiminta. [Internetsivut]. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavilla: <http://www.tem.fi/energia/sahkomarkkinat/sahkoverkkotoiminta>

VTT Prosessit 2004. Energia Suomessa - Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. Mikko Kara. ISBN-13: 9789513742560 edn. Helsinki: Oy Edita Ab.

VTT 2005. Sähkön kysyntäjouaston potentiaalikartoitus teollisuudessa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuslaitos. VTT Prosessit PRO3/P3017/05. Julkaistu 31.8.2005. [Viitattu 2.5.2013] Saatavilla: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2005/PRO3_P3017_05.pdf

VTT 2014. Suomen tuulivoimatilastot. [Internetsivut]. [Viitattu 13.5.2012]. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/proj/windenergystatistics/>

Vänskä, V 2013. Taajuusohjattujen reservien hankinta. [Esitys]. Julkaistu 2.12.2013. [Viitattu 15.5.2014]. Saatavilla: http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kayttotoimikunta/2013/2.12.2013/2_Taajuusohjattujen%20reservien%20hankinta.pdf

Liite 1. Yrityshaastatteluiden kysymykset

1. Miten yritys näkee sähkön kysyntäjouaston tällä hetkellä: osallistuuko jo markkinoille jotenkin, onko asia ollut esillä yrityksessä, onko tavoitteena selvittää asiaa tarkemmin tai osallistua markkinoille?
2. Miten sähkön hankinta hoidetaan tällä hetkellä, ja miten tämä vaikuttaa kysyntäjouaston toteutukseen sekä mahdollisesti motivaatioon?
3. Minkälainen organisaatio vastaa sähkön hankinnasta ja kulutuksen hallinnasta yrityksessä?
4. Mitkä ovat yrityksen tavoitteet sähkön kulutukseen liittyen, kuinka merkittävä kuluerä sähkön hankinta on yritykselle?
5. Miten yrityksen sähkön/energiantulutusta seurataan tällä hetkellä? Onko yrityksellä olemassa älykkäät seurantarjestelmät?
6. Mitkä ovat yrityksen potentiaaliset kysyntäjouastoon soveltuvat sähkönkulutusteet (prosessit, valaistus, kiinteistösähkö, muu sähkönkäyttö, oma varavoima)?
7. Mikä on yrityksen vuotuinen sähkönkulutus ja kuinka suuria tehoja mahdolliset joustokohteet käyttävät?
8. Minkälainen on yrityksen tuotantoprosessi, miten tuotantoa suunnitellaan (aika-jänne, toimitusvaatimukset, riskialttius, varastot)? Miten paljon prosessissa on joustoa?
9. Mikä mahdollisesti estää kysyntäjouastomarkkinoille osallistumisen tällä hetkellä?
10. Onko yrityksellä kiinnostusta osallistua tarkempaan kysyntäjouaston selvitykseen yrityksessä (esiselvitysvaihe)?